



**MERMER TOZU VE UÇUCU KÜLÜN ZEMİN
İYİLEŞTİRMEDE KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Umut Doğuş KAÇMAZ

Danışman

Doç. Dr. İsmail ZORLUER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERMER TOZU VE UÇUCU KÜLÜN ZEMİN İYİLEŞTİRMEDE
KULLANIMI

Umut Doğu KAÇMAZ

Danışman
Doç. Dr. İsmail ZORLUER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Umut Doğuş KAÇMAZ tarafından hazırlanan "Mermer Tozu ve Uçucu Külün Zemin İyileştirmede Kullanımı" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 19/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan (Danışman) : Doç. Dr. İsmail Zorluer
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Uğur Şafak Çavuş
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Murat Kilit
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

[Signatures]

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

12/07/2019

İmza
Umut Doğu Kaçmaz

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

MERMER TOZU VE UÇUCU KÜLÜN ZEMİN İYİLEŞTİRMEDE KULLANIMI

Umut Doğu KAÇMAZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. İsmail ZORLUER

Dünyada ve ülkemizde çeşitli sebeplerle yetersiz zeminlerin iyileştirilmesi ve kullanılması ihtiyaç haline gelmiştir. Aynı zamanda endüstriyel gelişimin sonucu olarak ortaya çıkan atıkların doğaya ve canlılara verdikleri zararlar yıllardır görülmektedir. Bu çalışma endüstriyel atıklar olan mermer tozu ve uçucu külün zemin iyileştirmesinde kullanılması amacıyla yapılmıştır. Çalışma kapsamında Soma uçucu külü ve İscehisar mermer tozu kullanılmıştır. Değişik katkı oranlarında hazırlanan numuneler üzerinde elek analizi, standart proktor deneyi ve tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında 16m² bir alana 30cm kalınlığında %15 mermer tozu %15 uçucu kül katkılı malzeme araziye serilmiştir. Serilen malzemedeki değişimler 7, 14, 28 günlük periyotlarla incelenmiş olup mukavemetindeki artışın yavaşta olsa görüldüğü gözlemlenmiştir.

2019, viii + 66 sayfa

Anahtar Kelimeler: zemin iyileştirme, mermer tozu, uçucu kül

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

USE OF MARBLE DUST AND FLY ASH IN SOIL STABILIZATION

Umut Doğuş KAÇMAZ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. İsmail ZORLUER

The stabilization and use of inadequate soils have become a necessity for various reasons in the world and in our country. At the same time, the damages suffered by nature and living beings caused by the wastes generated as a result of industrial development have been witnessed for many years. This study was conducted in order to use the marble dust and fly ash that are industrial wastes, in soil stabilization. Soma fly ash and Iscehisar marble dust were used in this study. Sieve analysis, standard proctor test and uniaxial pressure test were performed on the samples prepared at different additive rates. In the light of the data obtained, a material which is 30 cm in thickness and contains 15% marble dust and 15% fly ash was laid on a 16m² area. The changes in the material laid were examined at 7, 14, 28 day periods and an increase in strength, albeit slow, was observed.

2019, viii + 66 pages

Keywords: soil stabilization, marble dust, fly ash,

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. İsmail Zorluer'e, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Umut Doğuş KAÇMAZ
AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Zemin İyileştirilmesi	1
1.1.1 Zemin İyileştirilmesi ve Amaçları	1
1.1.2 Zemin İyileştirilmesi Yöntemleri	2
1.2 Endüstriyel Atıklar.....	3
1.2.1 Endüstriyel Atıkların Önemi	3
1.2.2 Endüstriyel Atıkların Katkı Malzemesi Olarak Zemin İyileştirilmesinde Kullanılması	3
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	5
2.1 Uçucu Kül	5
2.1.1 Uçucu Külün Özellikleri.....	5
2.1.2 Uçucu Külün Sınıflandırılması.....	6
2.1.3 Uçucu Külün Kullanım Alanları.....	7
2.2 Mermer Tozu (MT).....	9
2.2.1 Mermer Tozunun Oluşumu ve Özellikleri	9
2.2.2 Mermer Tozunun Kullanım Alanları.....	9
2.3 Mermer Tozu ve Uçucu Külle ilgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar	10
3. MATERYAL ve METOT	13
3.1 Malzeme Özellikleri	13
3.2 Laboratuvar Çalışmaları	14
3.2.1 Numunelerin Hazırlanması.....	14
3.2.2 Tek Eksenli Basınç Deneyi (Serbest Basınç Deneyi).....	16
3.3 Arazi Çalışmaları	16
4. BULGULAR	20
4.1 Serbest Basınç Deneyi	20

4.2 Arazi Çalışmaları	21
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	22
6. KAYNAKLAR.....	24
ÖZGEÇMİŞ.....	27
EKLER	28



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Al_2O_3	Alüminyum oksit
CaO	Kalsiyum oksit
Fe_2O_3	Demir oksit
K_2O	Potasyum oksit
MgO	Magnezyum oksit
Na_2O	Sodyum oksit
SiO_2	Silisyum dioksit
SO_3	Kükürt trioksit
μg	Mikrogram

Kısaltmalar

EG	Elekten Geçen
EK	Elekte Kalan
G	Karayolları Genel Müdürlü Alt ve Üst Limitleri Arasında Kalan Karışimsız Agregat
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
MT	Mermer Tozu
SW	İyi derecelendirilmiş kum
UK	Uçucu kül
W_{opt}	Optimum su muhtevası
γ_{max}	Maksimum kuru yoğunluk

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

ŞEKİL 2. 1 İNGİLTERE'DEKİ TERMİK SANTRALLERDEN ELDE EDİLEN UÇUCU KÜLLERİN KULLANIM ALANLARI.....	8
ŞEKİL 3. 1 GRANÜLOMETRİ EĞRİSİ.....	14
ŞEKİL 3. 2 UÇUCU KÜL VE MERMER TOZUNUN BUNKERLERE ALINMASI.	18
ŞEKİL 3. 3 MALZEMELERİN KARIŞTIRILMASI VE SERİMİ İŞLEMİ.....	18
ŞEKİL 3. 4 MALZEMEYE KÜR İŞLEMİNİN YAPILMASI.....	19
ŞEKİL 3. 5 KAROT NUMUNELERİN LABORATUAR ÇALIŞANLARIYLA ALINMASI.....	19
ŞEKİL 4. 1 DAYANIM - KÜR SÜRESİ GRAFİĞİ	20
ŞEKİL 4. 2 KARIŞIM ORANI - DAYANIM GRAFİĞİ	21

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
ÇİZELGE 2. 1 TÜRKİYE’DE ÜRETİLEN BAZI UÇUCU KÜLLERİN KİMYASAL YAPISI (ARUNTAÇ 2006).	6
ÇİZELGE 3. 1 İSCEHİSAR MERMER TOZU VE SOMA UÇUCU KÜLÜ KİMYASAL ÖZELLİKLERİ.	13
ÇİZELGE 3. 2 KARIŞIM ORANLARI.....	14
ÇİZELGE 3. 3 OPTİMUM SU MUHTEVASI VE KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI TABLOSU.....	15
ÇİZELGE 3. 4 DENEYSEL ÇALIŞMA PROGRAMI.	16
ÇİZELGE 4. 1 NUMUNELERİN BASINÇ DAYANIMLARI.	20



1. GİRİŞ

1.1 Zemin İyileştirilmesi

1.1.1 Zemin İyileştirilmesi ve Amaçları

Zemin iyileştirme; hızlı kentleşmeyle beraber uygun yerleşim yerlerinin hızla azalması, azalan arazilerin maliyetlerindeki afakî artışlar, komşu yapıların koruma zorunluluğu ve yapıların giderek artan boyutları ve getirdiği büyük gerilme limitleri inşaat sektöründe zemin iyileştirme işlemini zorunlu kılmıştır. Özellikle son yıllarda sanayileşmesini tamamlamış yerleşim yerlerinde taşıma ve oturma yönünden sorunlu zeminlerin kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Bu zeminlerin genel özellikleri taşıma gücü düşük, sıkışabilirliği yüksek, sıvılaşma yeteneği fazla olmasıdır (Altun 2010).

Tüm mühendislik yapıları zeminlerin üzerine veya içlerine yapılmaktadır. İnşa edilecek bu yapılarda oluşan ve zemine aktarılan gerilmelerin zemin tarafından güvenle taşınması beklenir. Lakin zeminler bu özellikleri her zaman sağlayamamaktadırlar. Bu durumda bazı önlemler alınarak iyileştirme yapılması gerekmektedir (Özdemir vd. 2006).

1. Mevcut zemin için en ideal yapı temelleri projelendirmek,
2. Yetersiz zemin yerine taşıma gücü yüksek zeminlerin yerleştirilmesi,
3. Yetersiz olan zemini aşarak sağlam zemine ulaşılması,
4. Zemin özelliklerini sahada yapılan müdahalelerle iyileştirmek,

Zemin iyileştirmelerinde amaç yetersiz taşıma kapasitesini arttırmak, toplam oturmayı azaltmak, konsolidasyonu hızlandırmak, gerilmeler altında şekil değişimini azaltmak, şişme-büzülme potansiyelini azaltmak, erozyon direncini azaltmak, yüzey bozulmalara karşı direncin arttırılması, sıvılaşma potansiyelini azaltmak ve geçirimsizliği düşürmektir (Özaydın 2012).

1.1.2 Zemin İyileştirilmesi Yöntemleri

1. Vibrasyonlu (titreşimli) yöntemler
 - a. Vibroflotasyon
 - b. Kum sıkıştırma kazıkları
 - c. Vibrasyonlu sondalar ile sıkıştırma
 - d. Patlatma

Vibrasyonlu yöntemler kirlilik seviyesi düşük kohezyonsuz zeminler için uygundur (İnce tanelerin oranı $< \% 20-25$). Zemindeki ince tanelerin oranı yükseğe vibrasyon etkisini kaybettiğinden zemini yatayda veya düşeyde iterek ve deplasman yaptırarak sıkıştıran şu teknikler uygulanabilir:

2. Deplasman Teknikleri
 - a. Kompaksiyon (Sıkıştırma) Kazıkları
 - b. Ağırlık Düşürme (Dinamik Sıkıştırma)
 - c. Kompaksiyon Enjeksiyonu
3. Karıştırma Teknikleri
 - a. Kireç kolonları
 - b. Derin Karıştırma (Deep Mixing)
 - c. Jet Enjeksiyonu (Jet Grouting)
 - d. Ön(ceden) Karıştırma

Üçüncü grup yöntemlerde bir bağlayıcı katkı malzemesiyle (çimento, kireç gibi) zemin karıştırılarak sertleştirilir. Kolonlar (tekli, çiftli, dörtlü, vb.), iki yönde kesişen perdeler veya kütle olarak zemin katı hale getirilir. Izgara şeklinde (kare/dikdörtgen) iki yönde şerit şeklinde taşlaşdırılan zeminlerde ayrıca boşluk suyu basınçlarını izole ettiği ve sıvılaşmayı önlediği bilinmektedir.

4. Diğer Yöntemler
 - a. Zemin değiştirme ve yapısal dolgular
 - b. Çakıl diren kuyuları (veya suni drenaj malzemeleri)
 - c. Yer altı suyu seviyesini düşürme (kuyular, hendekler, vb.)

- d. Permeasyon(Sızma)Enjeksiyonu (İnce tane oranı %20 den az daneli zeminler) (Altun 2010).

1.2 Endüstriyel Atıklar

1.2.1 Endüstriyel Atıkların Önemi

Ülkemiz 1923 yılında Cumhuriyet'in ilanı ile ekonomik dönüşüm içinde olan bir ülkedir ve sanayileşme yönünden hızlı ve büyük bir gelişim göstermektedir. Bu gelişim ülkemiz açısından olağan üstü bir öneme sahiptir, fakat üretilen ürünlerin yanı sıra hatırı sayılır miktarda atık malzemeler ortaya çıkmaktadır. Bu atık malzemeler insanlık ve çevre için olumsuz yanları vardır. Atık malzemelerin çevreye zarar vermemesi için biriktirilmesi, nakliye ve depolanması gerekmektedir. Bu aşamaların herhangi birinde gerçekleşebilecek sorunda atık malzemeler çevre kirliliklerine sebep olabilmektedir (Beycioğlu vd. 2008).

Uyum süreci ve Çevre Ajansı üyeliğimizle birlikte ülkemizde de bu atık malzemelerin geri dönüşümünü önemli hale gelmiştir (Görhan vd. 2008). Özellikle bazı endüstriyel atık malzemelerin bağlayıcı özelliklerinin yüksek olması, ekonomiye kazandırılması, atıl vaziyette çevreye verebileceği zararların önlenmesi ve istiflemek yerine malzemelerin değerlendirilmesi amacıyla kullanıma kazandırılmak istenmektedir.

1.2.2 Endüstriyel Atıkların Katkı Malzemesi Olarak Zemin İyileştirilmesinde Kullanılması

Türkiye'nin nüfusu 2020 yılında 83 milyona ulaşması öngörülmektedir. Artan nüfusa, yüksek kentleşme ve yatırımların artması eşlik etmektedir (Eşkinat 2012). İnşaat sektörü zaman zaman daralmalar yaşasa da Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde aralıksız devam etmek durumundadır ki hammadde ihtiyacı çok yüksek olan inşaat sektöründe endüstriyel atıkların kullanılması hem ekonomik hem de çevre açısından büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, Afyonkarahisar'da mermerin işlenmesi esnasında oluşan ve çökeltme

havuzlarında biriken mermer tozu (MT) ve Soma Termik Santralinde elektrik üretimi sonucu oluşan uçucu külün (UK), zemin iyileştirilmesi amacıyla kullanılarak geri dönüşümünün sağlanması amaçlanmıştır. Bu atıklar belirli oranlarda zemin ile karıştırılmıştır. Karışımlardan numuneler hazırlanarak serbest basınç deneyi ile 7, 28, 56 günlük dayanımları ölçülmüştür. Ayrıca dayanımı yüksek olan karışım oranındaki numunenin arazi şartlarındaki performansı değerlendirilmek amacıyla arazi uygulaması yapılmıştır. Belirlenen bir alana serilen malzemenin bakımları yapılmış ve 7, 14, 28 günlük dayanım sonuçları incelenmiştir. Bu endüstriyel atıkların hangi düzeyde çevreye ve ekonomiye yararlı hale getirilebileceği belirlenmiştir.



2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Uçucu Kül

Ülkemizin orta ve uzun vadeli enerji üretim stratejileri arasında öncelik yöntemlerinden biri termik santraller ile enerji üretimidir. Termik enerji santrallerinde enerji üretimi düşük kalorili linyit kömürün ince boyutlarda öğütülerek yakılmaktadır. Bu işlem sırasında baca gazlarıyla sürüklenen küller elektro filtreler yardımıyla bacalarda tutulan küller oluşmaktadır. Bu küller 1-150 mikron boyutlarındadırlar. Aynı zamanda hafif ve uçabilen bu atıklara uçucu kül denilmektedir (Görhan vd. 2008).

Uçucu küller, elektrik üretimi amacıyla termik santrallerde öğütülmüş kömürün yanması sonucu ortaya çıkan ve yanma bölgesinden filtrelerle elde edilen çok ince toz zerrecikleridir (Thomas *et al.* 2017).

Bütün dünyada bir yılda üretilen uçucu külün %25'inden daha azı geri dönüştürülmektedir. Bununla beraber Çin ve Amerika dışındaki gelişmiş ülkelerde bu malzemenin değerlendirilmesi daha yaygındır. Almanya, Hollanda ve Belçika'da üretilen uçucu külün %95'den fazlası, İngiltere'de %50 si değerlendirilirken Türkiye'de bu oran çok daha düşük seviyelerdedir. Uçucu küllerin neden olduğu çevre sorunları tozlanma, erozyon, toprakta süzülmeden dolayı toksit madde taşınması ve radyasyon sayılabilir (Aruntaş 2006).

2.1.1 Uçucu Külün Özellikleri

Uçucu külü oluşturan başlıca bileşenler; SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO olup oranları çıkan külün tipine göre değişmektedir. Ayrıca MgO , SO_3 alkali oksitler de ikincil bileşen olarak bulunmaktadır. Uçucu küldeki temel oksitlerden; SiO_2 %25-60, Al_2O_3 %10-30, Fe_2O_3 %1-15 ve CaO , %1-40 oranlarında bulunmaktadır. Bu değişken değerler uçucu külün tipini karakterize etmektedir. Farklı yerlerden temin edilen kömürlerin küllerinde değişiklikler meydana gelmektedir. Yine de uçucu külün temel bileşenleri silis ve alüminadır (Görhan vd. 2008). Türkiye'de üretilen uçucu küllerin kimyasal yapıları Çizelge 2.1 de gösterilmiştir.

Uçucu külün oluşum içeriği değişken ve karmaşıktır, biçimi ise yüzey basıncına maruz kalmasından dolayıyla küre biçimdedir.

Düşük kireçli uçucu küllerin asıl aktif bileşeni, silis ve alüminadan oluşan amorf ya da camsı fazdır. Düşük kireçli uçucu küller, rutubetli ortamda sönmüş kireç (CaOH_2) ile reaksiyona girerek puzolanik olma özelliği gösterirler. Yüksek kireçli uçucu küller ise, hem puzolanik özellik gösterirken hem de sahip oldukları serbest kireç, trikalsiyum alüminat, amorf silis ve alümina hasebiyle kendi başlarına da bir miktar bağlayıcı özelliği gösterirler (Görhan vd. 2008).

Çizelge 2. 1 Türkiye’de üretilen bazı uçucu küllerin kimyasal yapısı (Aruntaç 2006).

Bileşim (%)	Afşin-Elbistan	Çatalağzı	Tunçbilek	Çayırhan
SiO ₂	27,4	56,8	58,59	49,13
Al ₂ O ₃	12,8	24,1	21,89	15,04
Fe ₂ O ₃	5,5	6,8	9,31	8,25
S+A+F	45,7	87,7	89,79	72,42
CaO	47	1,4	4,43	13,2
MgO	2,5	2,4	1,41	4,76
Na ₂ O	0,3	0,3	0,24	2,2
K ₂ O	-	-	1,81	1,76
SO ₃	6,2	2,9	0,41	3,84
Kızdırma Kaybı	2,4	0,6	1,39	0,72

2.1.2 Uçucu Külün Sınıflandırılması

Uçucu küller termik santralde kullanılan yakıt cinsine göre 2 gruba ayrılmaktadırlar (Alkaya 2009).

1. Taş Kömürü uçucu külleri
2. Linyit Kömürü uçucu külleri

Uçucu küller kimyasal yapılarına göre 4 gruba ayrılmaktadırlar (Alkaya 2009);

1. Silikat Alüminat Esaslı uçucu küller: Birleşimin büyük kısmı kuvars (SiO_2) ve bir miktar alüminat Al_2O_3 meydana getirmektedir. Genellikle taş kömürü uçucu külleri bu yapıdadır. İnce ve camsı yapıya sahiptirler.

2. Silikat-Kalsit Esaslı uçucu küller: Ana oksitler silikat ve kalsittir. Bazı durumlarda ek kireç kullanımına gerek kalmaksızın kendi kendilerine bağlayıcılıkları vardır. Zayıf bir bağlayıcılık özelliği vardır.
3. Sülfo-Kalsit Esaslı uçucu küller: Yapılarının büyük bir bölümü kükürt trioksit (SO_3) ve kalsitten (CaO) oluşmaktadır. Sulu ortamda kendileri sertleşebilmektedirler. Genellikle Linyit uçucu külleri bu özelliğe sahiptirler.
4. Sınıflandırılmayan uçucu küller: Santrallerde yakma sisteminin homojen olmamasından kaynaklanan ve seçici kimyasal yapıları bulunmayan uçucu küllerdir.

TS EN 197-1'e göre sınıflandırmada uçucu küller silissi (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar (Üstümkol 2009).

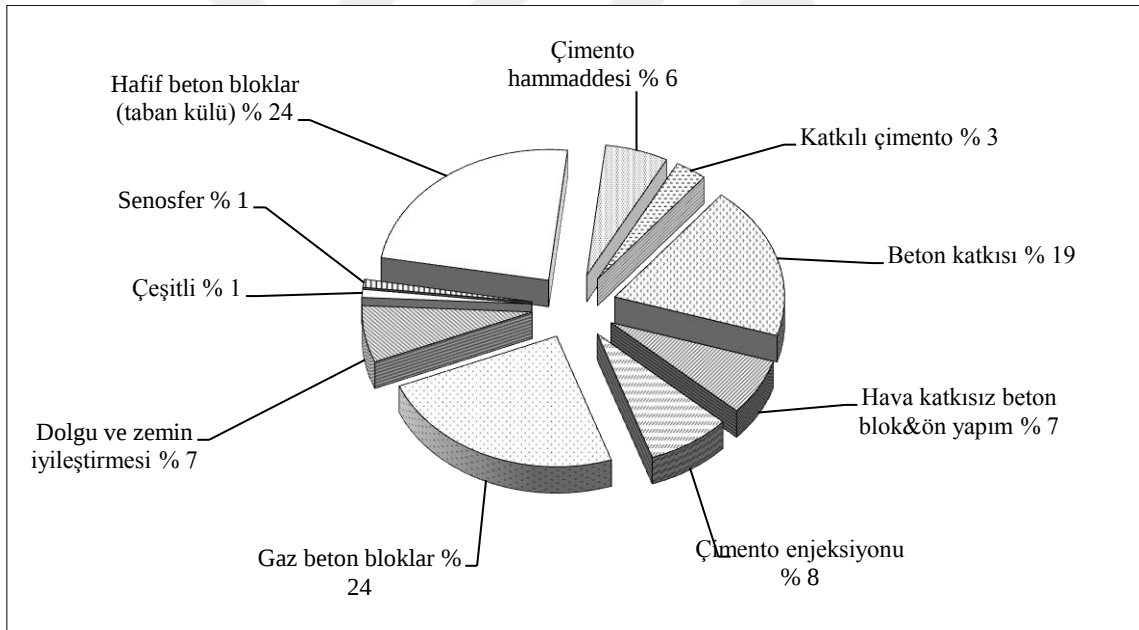
1. V sınıfı uçucu küller; çoğunluğu puzolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden oluşurlar. İnce bir toz olup; esas olarak reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminat Al_2O_3 den oluşmaktadır. Bu küllerde reaktif kireç oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olmaması gerekmektedir.
2. W sınıfı uçucu küller; hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup; esas olarak reaktif kireç (CaO), reaktif SiO_2 , Al_2O_3 den oluşan; geri kalanı da demir oksit ve diğer malzemeleri içeren uçucu küllerdir. Bu küllerde reaktif kireç oranının %10'dan fazla, reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir.

2.1.3 Uçucu Külün Kullanım Alanları

Uçucu külün kireç ve çimento yerine kullanılması hem endüstriyel bir atığın değerlendirilmesi hem de gereksiz enerji kaybının önüne geçilmesi anlamına gelmektedir. Uçucu külün zayıf zemin üzerine inşa edilen yol dolgularında, düşük birim ağırlığı sayesinde oturmayı engellemekte ve etkili kohezyonu yamaçlara dik dolgu yapılmasını mümkün kılmaktadır. Viyadüklerin ayaklarına gelen yatay toprak itkisini de azalttığı görülmektedir. Hulasa uçucu külün sertleşme özelliği zaman geçtikçe artan uzun süreli stabiliteyi sağlamaktadır (Haşal 2000). İngiltere yapılan bir çalışmaya göre termik santrallerden ortaya çıkan uçucu küllerin kullanım alanları şekil 2.1'de gösterilmektedir.

Diğer taraftan Ünver(2015) tarafından yapılan çalışmada uçucu külün kullanım alanları;

- Dolgu malzemesi
- Yalıtım malzemesi
- Maden ocaklarında filler
- Gaz beton üretimine yardımcı hammadde
- Katkılı çimento ve beton üretiminde katkı malzemesi
- Hafif agrega üretiminde yardımcı hammadde
- Zemin stabilizasyonunda zemin özelliklerini iyileştirici malzeme
- Tuğla üretiminde yardımcı malzeme
- Katı atık sahalarında yeraltı suyunu kirlletmemesi için çevresinde düşey geçirimsiz perdelerin oluşturulmasında bentonit-çimento ve zemin-bentonit karışımlarında katkı malzemesi olarak belirtilmiştir.



Şekil 2. 1 İngiltere'deki termik santrallerden elde edilen uçucu küllerin kullanım alanları.

2.2 Mermer Tozu (MT)

2.2.1 Mermer Tozunun Oluşumu ve Özellikleri

Mermer madenciliği açık ocak işletme yöntemi ile yapılmaktadır. Mermer işleme makineleri ile büyük ebatta blok elde edebilme, kesme, cilalama gibi işlemlerden oluşmaktadır. Oluşum yerlerine göre mermer atıkları ocaklardan oluşan ve fabrikada oluşan atıklardır. MT iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Bunlar fabrikada oluşan atıklar ve ocaklarda oluşan atıklardır (Bilgin 2013).

Boyutlarına göre mermer atıkları;

Molozlar: Blok mermer çıkarılması sonucunda çıkan şekilsiz ve büyük boyutlu atıklardır.

Kapaklar: Bu tip atıklar mermer kesimi sırasında alt ve yan kısımlarda oluşan bir yanı düz diğer kenarları şekilsiz olan atıklardır.

Paledyenler: Tesislerde plakların oluşturulması sırasında yan kesme ve baş kesme makinelerinin atıklarıdır.

Mermer Tozu: En küçük boyutlu mermer atıklarıdır. 250 mikronun altındaki mermer atıklarıdır. Ortalama tane boyutları 5 mikronun altında olan endüstriyel atıklardır (Zorluer 2003).

Afyonkarahisar bölgesinde faaliyet gösteren mermer işletmelerinin en büyük depolama alanları İscehisar ilçesinde bulunmaktadır ve 250 milyon ton mermer tozu atığı biriktiği tahmin edilmektedir (Demir ve diğerleri 2014, Doğan 2019).İscehisar'da bulunan bir mermer işletmesinden alınan MT'nun kimyasal yapısında ağırlıklı olarak CaO baskın oksit olarak yer almaktadır (Zorluer ve Usta 2003).

2.2.2 Mermer Tozunun Kullanım Alanları

MT, kendiliğinden yerleşen beton üretiminde mineral katkı olarak çimento veya agrega ile ikame edilebilir. Aynı zamanda polimer beton üretiminde maliyetleri azaltmak için de kullanılabilir (Demirel ve Alyamaç 2018, Ergün 2011).Yol inşaatlarında marshall stabilitesini yükselttiği gözlemlenmiştir, basınç ve çekme mukavemeti hasebiyle MT'nun asfalt yollarda dolgu malzemesi olarak kullanılmasının çok avantajlı olduğu saptanmıştır (Chandra *et al.* 2002). Mozaik, karo, çimento, harç ve sıva olarak

kullanılabildiği gibi kireç elde edilebilen özel bir malzemedir. Seramik sektöründe, çimento imalat sanayinde, plastik sanayinde, yem ve boya sanayilerinde, yol yapımında stabilizasyon malzemesi olarak, cam sanayi kimya sanayinde temizlik malzeme imalatında, oto lastiği imalatından, patlayıcı malzeme imalatına kadar geniş bir kullanım alanı vardır (Bilgin 2013).

2.3 Mermer Tozu ve Uçucu Külle ilgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Ferguson (1993), farklı zeminlerde çalışmalar yaparak ilave uçucu külün zemin şişme potansiyelini düşürdüğü sonucuna varmıştır.

Nicholas ve Kashyap (1993), yüksek şişme potansiyeline sahip uçucu kül ve kireç eklenmesiyle iyileştirilmesinde California Taşıma Oranı (CBR) değerlerinin arttığı, sıkışma özelliklerinde iyileştiği ve şişme potansiyellerinin azaldığını gözlemlemiştir.

Magaraj ve Krishnamoorthy (1994), su/çimento oranı 0,6 olan harç numunelerinde ince agrega ile değişken oranlarda Uçucu kül karışımları hazırlamış ve UK'nun betonda işlenebilirliği azalttığı gözlemlenmiş daha fazla suya ihtiyacı belirlenmiştir. Basınç Mukavemetinde artış gözlemlenmiştir.

Yılmaz (2016), düşük plastisiteli killi zeminlerde belirli oranlarda uçucu kül karıştırarak tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin belirgin oranda artışlarını gözlemlemiş ve en başarılı sonuca %25 UK kullanarak hazırlanan karışım numuneleri olduğu gözlemlenmiştir. Zeminde belirgin iyileşmeleri gözlemlemiştir.

Aksoy vd. (2007), yaptıkları çalışmalarda killi zeminde uçucu kül ile iyileştirme çalışmaları yapmış uçucu kül oranlarının artmasıyla serbest basınç mukavemetlerindeki artışı gözlemlemiştir.

Wasti (1997), uçucu küllerin zeminlerde kullanımını Soma ve Çatalağzı'ndan elde edilen UK ile incelemiş akabinde bu endüstriyel atıkların yüksek plastisiteli killi zeminlerin iyileştirilmesinde değerlendirilebileceği sonucuna varmıştır.

Rebeiz vd. (2004), çalışmalarında %15 kum yerine UK ikame ederek basınç mukavemetinde %30 artış gözlemlenmiştir. Bununla beraber eğilem momenti artan numunelerin geçirimsizliğinin de arttığı görülmüştür.

Supit vd. (2014), çimentonun yüksek miktarda uçucu kül ile ikamesi ile hazırlanan numunelerde UK oranı arttıkça basınç mukavemetlerinde azalma meydana gelmiştir.%50, %60, %70 uçucu kül içeren numunelerde basınç mukavemetlerinde %40,%54, %74,29 azalmalar görülmüştür.

Çokça (1997), Soma uçucu külüne çimento, bentonit ve kireç ekleyerek bir karışım hazırlamış ve bentonit ve kireç eklenmesi sonucu UK de permabilitenin arttığını gözlemlemişlerdir.

Aytekin (2009), çalışmalarında Kahramanmaraş'ta bulunan Afşin Elbistan B termik santralinden elde edilen uçucu kül ile deneyler yapmış ve zeminin UK katkısı ile kuru birim hacim ağırlığının azaldığı, optimum su muhtevasının arttığı ve bu durumun zeminin kompaksiyon özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür. Kayma mukavemetinin arttığı, permabilite ve konsolidasyon katsayılarının azaldığı gözlemlenmiş ve külün zemin ıslah çalışmalarında kullanılabileceğini sonucuna varmıştır.

Agarwal ve Gulati (2006), uçucu kül, mermer tozu ve diğer endüstriyel atıkların değişik oranlarda kullanılarak hazırlanan harçlarla çimento ikamesi olarak basınç mukavemetlerini araştırmışlardır.

Ünal ve Kibici (2003), beton üretiminde ince malzemeye %0, %10, %15, %20 oranlarında mermer tozu ile ikame etmiş ve basınç dayanımlarındaki belirgin artışları gözlemlenmişlerdir.

Keleştemur vd. (2014), ince agrega yerine MT kısmi ikamesi kullanarak hazırlanan harçların basınç mukavemetlerinin arttığını tesbit etmişlerdir.

Hebhoub vd. (2011), ince malzeme yerine beton üretiminde MT'nu %25,%50,%75 ve %100 oranlarında kullanarak betonun yoğunluğunu değiştirmeyerek basınç ve eğilme mukavemetlerini önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir. Lakin MT oranındaki artışın işlenebilirliği azalttığı gözlemlenmiştir.

Zorluer ve Gücek (2016), çalışmalarında değişik oranlarda uçucu kül-granit tozu ve uçucu kül mermer tozu karışımlarının dayanıma etkilerini incelemişlerdir. İki karışımında zemin iyileştirme anlamında olumlu sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir ve her iki malzemenin de yol alt yapısı için zemin iyileştirmede kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Zorluer ve Demirbaş (2013), Bu çalışmalarında atık maddeler olan uçucu kül ve mermer tozu karışımının zemin stabilizasyonunda alt taban malzemesi özelliklerini geliştirdiği

sonucuna varmışlardır.

Gameiro vd. (2014), değişik mermer tozu oranlarında hazırlanan numunelerde işlenebilirliğini ve mukavemetini incelemişlerdir. Kılcal su emiliminin mermer tozu ikamesinin azalttığını görmüşlerdir.

Görgün ve Ural (2015), çalışmasında mermer tozunun likit limiti yüksek kilde oluşturduğu değişiklikler incelenmiş artan mermer tozu ile zeminde dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.

Ünal ve Uygunoğlu (2004), Agregaya yerine %10, %20,%30 oranlarında uçucu kül ve %10,%15, %20 oranlarında mermer tozu ile betonların donma ve çözölmeleri incelenmiş %10-15 oranlarında UK veya %10 MT'nun beton karışımında kullanılmasının ekonomik yarar sağladığı görölmüştür.

Zorluer ve Gücek (2015), Yol temel tabakasında kullanımı için farklı oranlarda MT ve UK karışımlarıyla iki farklı kür ortamında iki farklı kür sürelerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır ve zemin dayanımının kür süresi artışına göre arttığını ancak su içerisinde bırakılan numunelerde dayanımın daha az arttığı sonucuna varmışlardır.

Zorluer ve Gücek (2014), Mermer tozu ve uçucu külle killi zeminlerin iyileştirilmesi üzerine yaptıkları çalışmada donma-çözölme, şişme ve taşıma gücünü incelemiş ve bu endüstriyel atıklarla basınç dayanımında, donma-çözölme ve zeminin şişmesiyle ilgili iyileşmeyi gözlemlemişlerdir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Malzeme Özellikleri

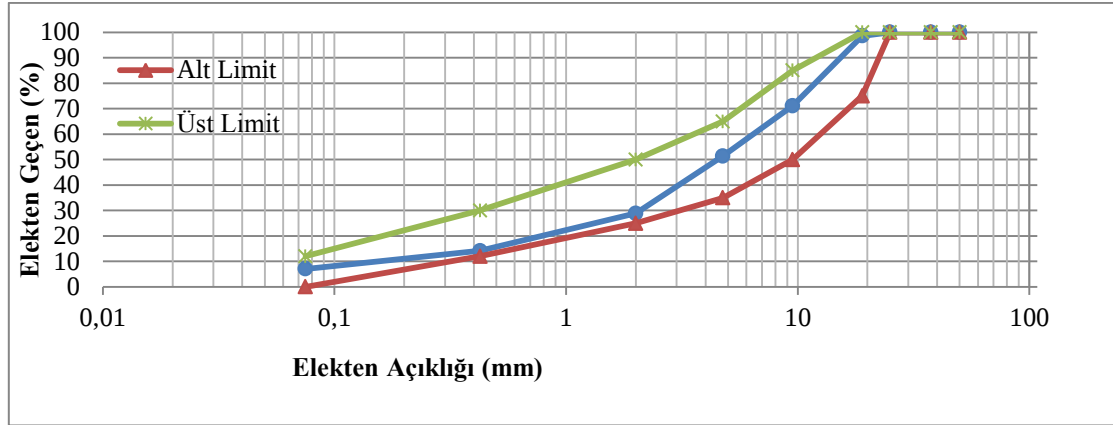
Kullanılan zemin numunesi Afyonkarahisar Belediyesinden temin edilmiştir. Yol yapım çalışmalarında temel ve alt temel malzemesi olarak kullanılan iri taneli zemin sınıfında bir malzemedir. Zemin sınıfı birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre SW dir. Amerikan Karayolları Sınıflandırma Sistemine göre A-1 sınıfı malzemelerdir. Karayolları Teknik Şartnamesi (2006) ne göre belirtilen alt ve üst limit sınırları arasında tane çapı dağılımına sahiptir (Şekil 3.1).

Mermer tozu Afyonkarahisar ili İscehisar İlçesinde bulunan mermer fabrikalarındaki çökelti havuzlarından alınmıştır. Mermer tozu oluşumu önceki bölümde belirtilmiştir. Mermer tozunun özellikleri çizelge 3.1 de belirtilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi kalsiyum ağırlıklı kimyasal yapıya sahiptir (%52,4 CaO içermektedir).

Uçucu kül Manisa ili Soma İlçesindeki termik santralden alınmıştır. Uçucu külün teknik özellikleri çizelge 3.1 de verilmiştir. Çizelgeden silis ve alüminyum ağırlıklı kimyasal yapıya sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. 1 İscehisar mermer tozu ve Soma uçucu külü kimyasal özellikleri.

Bileşen Adı	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Kızdırma Kaybı
(%) Mermer Tozu	3,75	0,02	0,034	52,4	0,66	-	-	0,05	42,1
(%) Uçucu Kül	46,2	24,58	4,72	16,43	0,87	0,42	1,41	3,26	1,12



Şekil 3. 1 Granülometri eğrisi.

3.2 Laboratuvar Çalışmaları

3.2.1 Numunelerin Hazırlanması

Numunelerin hazırlanması için önce karışım oranları literatür incelemesi sonucuna göre belirlendi. Bu oranlarda zemin malzemesinin kuru ağırlığı esas alınmıştır. Katkı için kullanılan mermer tozu ve uçucu kül malzemeleri, karışıma zeminin kuru ağırlığına göre belirlenmiş olan oranlara karşılık gelen ağırlıklarda ilave edildi. Karışım oranları ve numune isimleri Çizelge 3.2 de verilmiştir.

Çizelge 3. 2 Karışım oranları.

Numune Adı	Karışım oranları
G	% 100 Granüler zemin
G+5MT+5UK	% 100 Granüler Zemin + % 5 Mermer tozu + %5 Uçucu kül
G+10MT+10UK	% 100 Granüler Zemin + %10 Mermer tozu + %10 Uçucu kül
G+15MT+15UK	% 100 Granüler Zemin + %15 Mermer tozu + %15 Uçucu kül
G+20MT+20UK	% 100 Granüler Zemin + % 20 Mermer tozu + %20 Uçucu kül
G+10MT+20UK	% 100 Granüler Zemin + % 10 Mermer tozu + %20 Uçucu kül
G+15MT+30UK	% 100 Granüler Zemin + %15 Mermer tozu + %15 Uçucu kül

(G: iri taneli zemin, MT:Mermer tozu, UK: Uçucu kül)

Belirlenen karışım oranlarının optimum su muhtevası w_{opt} ve en büyük kuru yoğunluk değerleri standart (proktor)deneyi kompaksiyon deneyi ile elde edildi. Standart kompaksiyon deneyi TS1900-1 standardına göre yapılmıştır. Deney, iç çapı 105mm

yüksekliği 115,5mm olan kaba, 2,5 kg kütleli tokmak yardımıyla karışımın sıkıştırılmasıyla yapılmıştır. Sıkıştırma zeminin 3 tabaka halinde her tabakaya 305mm yükseklikten tokmağın serbest düşürülmesi ile uygulanan enerji sayesinde gerçekleştirilmiştir.

Bu deneyde elde edilen w_{opt} ve γ_{max} çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3. 3 Optimum su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlığı tablosu

Karışımların Optimum Su Muhtevaları ve Kuru Yoğunluk Tablosu		
Deney Numuneleri	Optimum Su Muhtevası, w_{opt} (%)	Kuru yoğunluk, γ_{max} (t/m ³)
Katkısız	7,69	2,21
%5MT & %5UK	8,30	2,13
%10MT & %10UK	9,17	2,11
%15MT & %15UK	6,35	2,03
%20MT & %20UK	11,87	1,97
%10MT & %20UK	8,40	2,10
%15MT & %30UK	11,43	1,98

Her karışım için elde edilen w_{opt} değeri kullanılarak tek eksenli basınç deneyleri için numune hazırlama işlemi yapılmıştır. Numune hazırlanırken karışım oranlarına göre tartılarak bir kap içerisinde kuru olarak karıştırılır. Sonra karışımın w_{opt} değerine göre su ilave edilmiş ve tekrar iyice karıştırılmıştır. Daha sonra standart kompaksiyon enerjisi ve kalıbı kullanılarak numune sıkıştırılmıştır. Sıkışmış numune kalıptan çıkarıldıktan hemen sonra 3 kat streç film ile sarılmıştır. Her karışım oranı ve her kür süresi için 2 adet numune hazırlanmıştır. Film ile sarılan numuneler kür süreleri beklemek üzere ısı değişimlerinin çok olmadığı bir noktada, üzeri kapatılarak koruma altına alınmıştır. Çizelge 3.4' te deney çalışma programı verilmiştir. Çizelgede numune sayıları ve yapılan deneyler görülmektedir.

Çizelge 3. 4 Deneysel çalışma programı.

Deney		Numune Sayısı (Adet)	
Elek analizi		1	
Standart Proktor Deneyi		7	
Kür Süresi			
Serbest Basınç deneyi	1 gün	7 gün	28 gün
	2x7	2x7	2x7
Takip Süresi			
Arazi Çalışmaları	1 gün	7 gün	28 gün
	1	1	1

3.2.2 Tek Eksenli Basınç Deneyi (Serbest Basınç Deneyi)

Tek eksenli basınç dayanımı, üzerine uygulanan yüklere karşı numunenin, etkili deformasyona dayanma özelliği olarak tanımlanır. Deneydeki amaç etkili deformasyon öncesi silindirik numunelerin uygulanan yükler altında dayanım sınırlarının belirlenmesidir. Deney kayma dayanımının en hızlı ölçüm metodlarından biridir.

Deney TS 1900-2 standardına göre yapılmıştır. Kür süresi tamamlanan numuneler serbest basınç cihazı plakaları arasına yerleştirildikten sonra, üst plaka ile numune arasındaki boşluk alınmıştır. Daha sonra numuneye dakikada 1mm olacak hızda yükleme başlatılmıştır.

Numune oluşan deformasyonlar ve bu deformasyonu oluşturan yükler kayıt altına alınmıştır. Yükleme işlemi numune kırılıncaya kadar devam ettirilmiştir ve kırılma anındaki yük yardımıyla serbest basınç dayanımı hesaplanmaktadır.

3.3 Arazi Çalışmaları

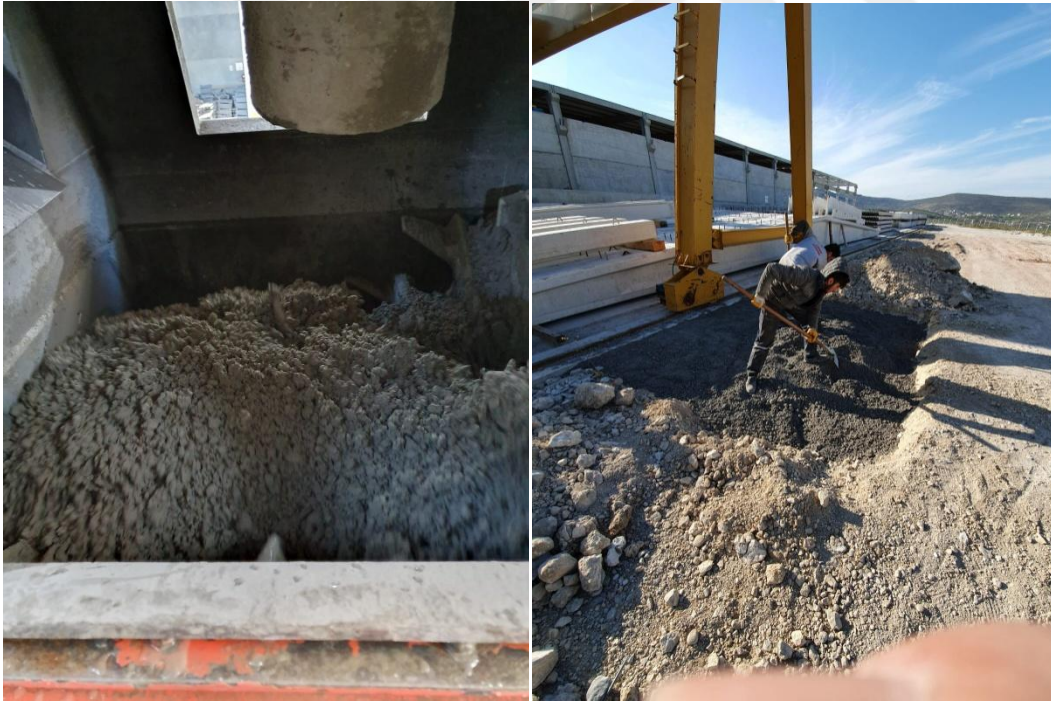
Bu çalışma Balıkesir ilinde Cansan Prefabrik A.Ş.'nin 800 desimetreküp üretim kapasiteli beton santralinde gerçekleştirilmiştir. Mermer tozu ve uçucu kül bunkerlere doldurulmuştur (şekil 3.2). Deneyde 0-3mm kum (1035,26kg), 5-12mm çakıl (470,58kg) ve 12-25mm çakıl (376,46kg) kullanılmıştır. Karışımın elde edilip serilmesi kademeli olarak gerçekleştirilmiştir. Karışım malzeme kuru ağırlığının %15'i mermer

tozu, %15'i uçucu kül ve %6,35 oranında su muhtevası ile gerçekleştirilmiştir. Karışım setlerinde malzeme için 1882,53 kg zemin, 282,38 kg mermer tozu, 282,38 kg uçucu kül alınmış ve 147lt su ile karılarak elde edilmiştir. 30cm derinliğinde kazılan zemin dolana kadar işleme devam edilmiştir. Malzemenin karışım süresi 180 saniye tutulmuştur. İstenilen karışım oluşturulduktan sonra serim işlemine geçilmiştir. Malzemelerin bunkerlerde karıştırılması ve serilme safhaları şekil 3.3 de gösterilmiştir. Malzeme ortalama 30 cm yüksekliğinde serilmiş ve her 10cm de bir 1 tonluk 1 m genişliğinde silindir ile sıkıştırılmıştır. Arazideki malzemenin serilme ve sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra 1 hafta boyunca düzenli kür işlemi yapılmıştır. (Şekil 3.4) Her kür işleminde yaklaşık 30 litre su kullanılmıştır. Bu değer serili malzemenin çamurlaşmadan renginin değiştiği duruma karşılık gelmektedir.

Deneyde amacımız arazi şartlarında dayanımın gelişimini görmektir. Bu amaçla 7, 14, 28 günlük dayanımları ölçülmüştür. Puzolanik özelliği olan uçucu kül, mermer tozu ile reaksiyona girmekte ancak reaksiyon oldukça yavaş gerçekleşmektedir. Bu nedenle 7 ve 14 günlük karot numuneleri alınamamıştır. 28 günlük karot numuneler alınabilmiştir. Karot numuneler alınamadığı için 7, 14 ve 28 günlük dayanım değişimi schmidt çekici ile ölçülmüştür. Deneyin 28. günü 3 adet karot numune alınabilmiştir(şekil 3.5). 80 mm çapında alınan bu numuneler laboratuara götürülmüş 2 gün suda bekletildikten sonra çapının 2 katı yükseklikte ayarlanmıştır ve numuneler %70 kükürt + %30 grafit başlık yapılarak deneye alınmışlardır. Deney ve hesaplamalar TS EN 12390-3, TS12390-7, TS EN 12504-1 ve TS 13791'e göre yapılmıştır.



Şekil 3. 2 Uçucu kül ve mermer tozunun bunkerlere alınması.



Şekil 3. 3 Malzemelerin karıştırılması ve serimi işlemi.



Şekil 3. 4 Malzemeye kür işleminin yapılması.



Şekil 3. 5 Karot numunelerin laboratuvar çalışanlarıyla alınması

4. BULGULAR

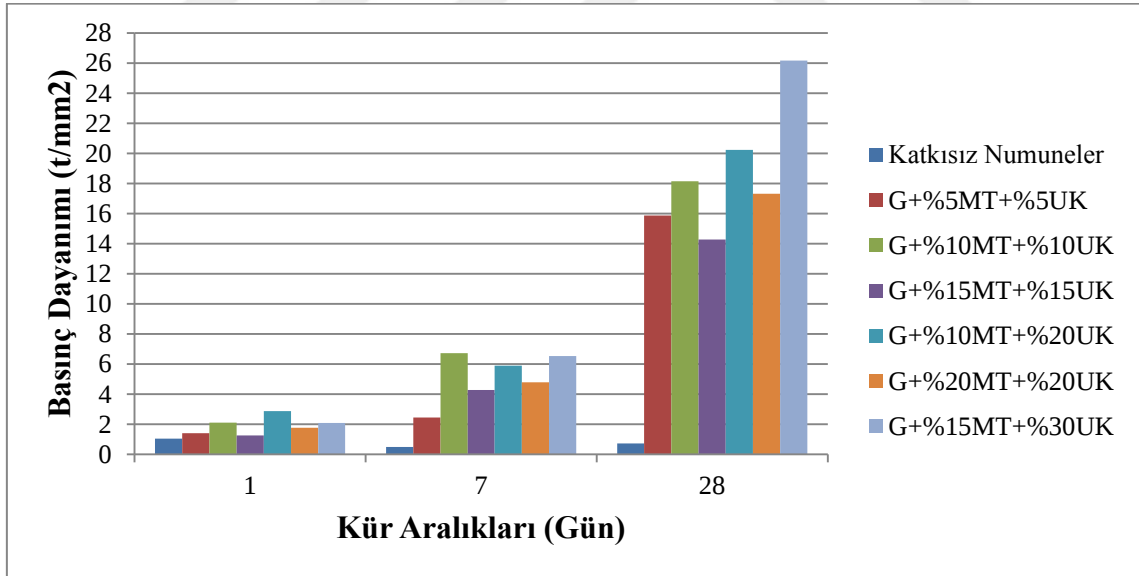
4.1 Serbest Basınç Deneyi

TS 1900-2 Standardına göre yapılan serbest basınç deneyi sonuçları çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelgede verilen değerler her karışım ve kür süresi için hazırlanan iki numunenin ortalama değerleridir.

Çizelge 4. 1 Numunelerin basınç dayanımları.

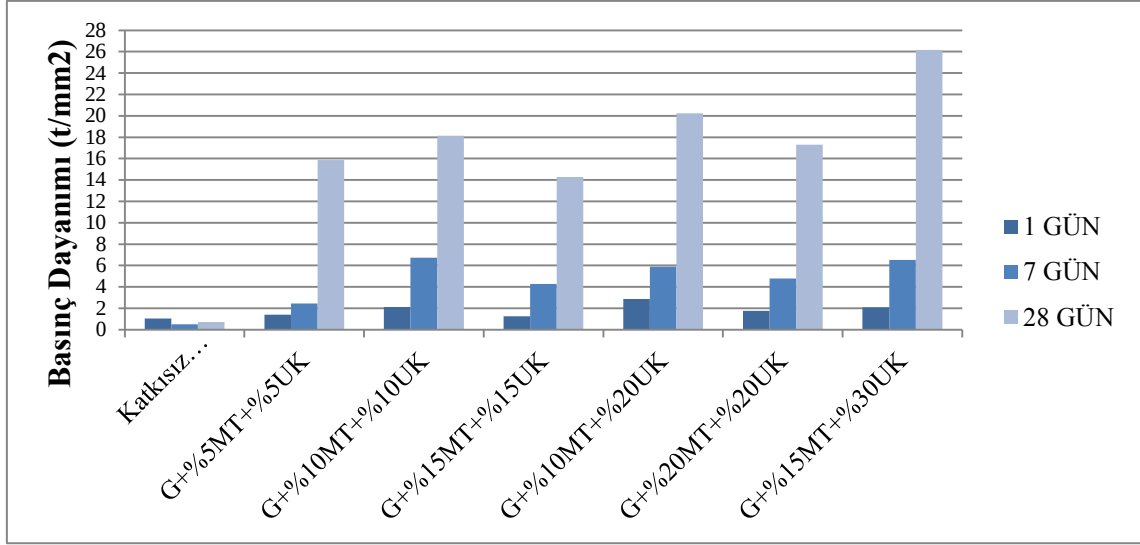
Kür Süreleri (gün)	Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri (kN/m ²)						
	Katkısız Numuneler	G+%5MT+%5UK	G+%10MT+%10UK	G+%15MT+%15UK	G+%10MT+%20UK	G+%20MT+%20UK	G+%15MT+%30UK
1	1,03	1,39	2,11	1,25	2,88	1,75	2,08
7	0,49	2,45	6,73	4,26	5,9	4,78	6,52
28	0,71	15,87	18,15	14,28	20,24	17,31	26,16

Serbest basınç deneyi sonuçları kür süresi ve dayanım ilişkisi şekil 4.1’de dayanım oranı ve dayanım ilişkisi ise şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4. 1 Dayanım - Kür süresi grafiği

(Şekil 4.1’de verilen grafikte sağda yukarıdan aşağıya sıralanan numuneler 1,7,28 günlük bölmelerde listedeki sırasıyla soldan sağa ifade edilmiştir.)



Şekil 4. 2 Karışım oranı - Dayanım grafiği

(Şekil 4.2’de verilen grafikte soldan sağa sıralanan numuneler 1,7,28 günlük dayanım grafikleri olarak sırasıyla soldan sağa belirtilmiştir.)

4.2 Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları sonucunda Schmidt çekici ile ölçüm sonuçlarının 7 günlük dayanım yaklaşık $2,1 \text{ N/mm}^2$, 14 günlük dayanım sonuçları $4,2 \text{ N/mm}^2$ ve 28 günlük sonuçlar $8,21 \text{ N/mm}^2$ olduğu gözlemlenmiştir. 28. gün karot alınan numunelerde ise basınç dayanımları ortalama $7,13 \text{ N/mm}^2$ olduğu görülmüştür.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Tek eksenli basınç deneyi sonuçları incelendiğinde kür süresinin numune üzerindeki etkisi şekil 4.1 de net olarak görülmektedir.

Kür süresi artışına bağlı olarak dayanım artmıştır. 28 gün sonunda dayanım artışı 15-20 kat kadar olmuştur. En büyük dayanım değeri 28 gün sonunda %15MT-%30UK karışımında görülmüştür.

Kür süresi puzolanik reaksiyonun olduğu ancak yavaş bir hızda meydana geldiğini göstermektedir. 7 günlük kür sonundaki dayanım artışı ile 28 günlük kür sonundaki dayanım artışındaki değişim bu durumun göstergesidir. Ayrıca katkısız numunelerin dayanım değerlerinde kür süresine bağlı artış olmaması, hatta düşme gözlenmesi MT ve UK' ün arasındaki puzolanik etkinin bir diğer belirtisidir.

Katkı miktarına bağlı dayanım değişimine bakıldığında, katkı oranları arttıkça dayanım artmıştır. Ancak bu artış doğrusal değildir. 1 günlük kür sonunda %10MT- %20UK numunesinde en büyük dayanım ($2,88 \text{ kN/m}^2$) değeri görülürken, 7 günlük karışımda %10MT - %10UK numunesinde en büyük dayanım değeri ($6,73 \text{ kN/m}^2$) görülmüştür. 28 günlük kür sonunda ise %15MT- %30UK numunesinde en büyük dayanım değeri ($26,16 \text{ kN/m}^2$) elde edilmiştir. Bu farka deney şartları neden olmuş olabilir. Katkı miktarı belirli değerlerin üzerine çıkınca dayanımı olumsuz etkilemektedir. Daha önceki çalışmalarda (Zorluer 2015) %10MT- %20UK karışım oranı en yüksek dayanımları vermiştir.

Arazi çalışması için laboratuarda elde edilen değerler ve literatürdeki çalışmalarda verilen değerler dikkate alınarak %15MT- %15UK oranı tercih edilmiştir.

Arazide bu seçilen malzemelerin serilmesi neticesinde zamanla mukavemet kazandığı lakin uçucu külün puzolanik özelliğinin diğer malzemelere nazaran daha yavaş aktivite olduğu zamanla mukavemetinin arttığı sonucuna varılmıştır. Serilen malzemede yüzeyin gözle görülür şekilde sertleştiği yağış olduğu dönemlerde suyun yüzeyde daha az oyalandığı ve malzemenin yekpare çalışarak ayrışmaya mahal vermediği gözlemlenmiştir. Arazideki malzeme yeterli dayanıma ulaştıkça yük taşıyabileceği hatta hafif trafik yükü olan yerde kullanılabilirliği görülmüştür. Ancak arazideki kullanım durumunda kür süresi boyunca yük taşıma özelliği olmayacağı veya çok düşük olacağı için dayanım yeterli hale gelene kadar beklemek gerekecektir.

Büyük alanlarda ve hafif trafik yükü olan yollarda MT ve UK' ün kullanımı ekonomik

ve çevresel katkılar sağlamaktadır. Atıkların değerlendirilmesi çevreci bir katkı, aynı zamanda atıkların karışımında kullanılmasının maliyeti oldukça düşük olduğundan ekonomik olarak değerlendirilebilir.



6. KAYNAKLAR

- Aksoy, H. S., Yılmaz, M., Akarsu, E. E. (2007). Killi zeminlerin Tunçbilek Uçucu Külü Kullanarak Stabilizasyonu, 2. Geoteknik Sempozyumu, 466-472.
- Alkaya, D. (2009). Uçucu Küllerin Zemin İyileştirilmesinde Kullanılmasının İncelenmesi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5:61-72
- Altun, S. (2010). Zemin İyileştirme Yöntemleri, Derin Temeller ve Uygulama Örnekleri. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi.
- Aruntaç, H. Y. (2006). Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 1: 193-203.
- Aytekin, S. (2009). Uçucu küllerin killi zeminlerin ıslahında kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Agarwal, S.K. ve Gulati, D. (2006). Utilization of industrial wastes and unprocessed micro-fillers for making cost effective mortars. *Construction and Building Materials*, 20: 999-1004.
- Beycioğlu, A., Başyigit, C., Subaşı, S. (2008). Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı İle Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması. Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümü Çevre Sorunları Sempozyumu.
- Bilgin, Ö., Koç, E. (2013). Mermer Madenciliğinde Çevresel Etkiler. Atatürk Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Erzurum.
- Chandra, S., Kumar, P. and Feyissa, B.A. (2002). Use of Marble Dust in Road Construction. *Road Materials and Pavement Design*, 3:317-330
- Çokça, E. (1997), Frost Susceptibility Properties of Soma-B Fly Ash, *Journal of Energy Engineering*, 1: 1-10.
- Demir, İ., Başpınar, S., Abadan, S., Kahraman, E. (2014). Mermer Tozunun Gazbeton Üretiminde Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, ISEM2014, s.1295, Adıyaman.
- Demirel, B. ve Alyamaç, K. E. (2018). Waste marble powder/dust. *Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete*, 1:181-197
- Doğan, C. (2019). Mermer Tozu ve Endüstriyel Atık İçeren Harçların Mekanik Özelliklerinin Deneysel Yöntemlerle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Ergün, A. (2011). Effect of the usage of diatomite and waste marble powder as partial

- replacement of cement on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, **25**:806-812
- Eşkinat, R., Tepecik, F. (2012). İnşaat Sektörüne Küresel Bakış. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, **2**:14-1
- Ferguson, G. (1993). Use of Self-Cementing Fly Ashes As A Soil Stabilization Agent, Fly Ash for Soil Improvement, *Geotechnical Special Publication*, **36**:1-15.
- Gamerio, F., Brito, J. and Silva, D. (2014). Durability performance of structural concrete containing fine aggregates from waste generate by marble quarrying industry, *Engineering Structures*, **59**:654-662
- Görgün, B. ve Ural, N. (2015). Mermer atığının geoteknik mühendisliğinde kullanılması, 2nd International Builddings Symposium (ISBS), Ankara
- Görhan, G., Kahraman, E., Başpınar, M.S., Demir, İ. (2008). Uçucu Kül Bölüm I: Oluşum Sınıflandırması ve Kullanımı Alanları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **2**:85-86, 85-94.
- Haşal, M. E. (2000). Uçucu Kül-Çimento-Köpük Karışımının Hafif Dolgu Malzemesi Olarak Geoteknik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Hebhoub, H. Aoun, H., Velachia, M., Houari, H. and Ghorbel, E. (2011). Use of waste marble aggregates in concrete. *Contruction Building Materials*, **25**:1167-1171.
- Keleştemur, O., Arıcı, E., Yıldız, S. ve Gökçer, B. (2014), Performance evaluation of cement mortars containing marble dust and glass fiber exposed to high temperature by using Taguchi metod. *Construction and Building Materials*, **60**:17-24.
- Magaraj, B.K. ve Krishnamoorthy, S. (1994). Use of pond fly ash as part replacement for mortar and concrete. *Indian Concrete Journal*. **5**:279-282.
- Nicholson, P. O., Kashyap, v. (1993). Fly ash Stabilization of Tropic Hawaiian Soil, Fly Ash for Soil Improvement, *Geotechnical Special Publication*, **69**: 15-30.
- Özaydın, K. (2012). Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Özdemir, A., Özdemir, M. (2006). Zayıf Zeminlerin İyileştirilemesi ve Son Yıllarda Yaygı Olarak Uygulanan Bazı Zemin İyileştirme Yöntemleri, *Sondaj Dünyası Dergisi*, **3**: 34-38.

- Rebeiz, K. S., Serhal, S.P. and Craft, A.P. (2004). Properties of Polymer Concrete Using Fly Ash, *Journal of Materials Engineering*, **16**:15-19
- Supit, W.M., Shaikh, U.A., ve Sarker, P. (2014). Effect of ultrafine fly ash on mechanical preoperties of high volume fly ash mortar. *Construction and Building Materials*, **51**: 278-286
- Thomas, M., Jewell, R. and Jones,R. (2017). Coal fly ash as a pozzolan. *Coal Combustion Products*, **1**: 121-154
- Ünal, O., Kibici, Y. (2001). Mermer atıklarının (havuz çökeltisi) beton üretiminde kullanılmasının araştırılması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiri Kitabı, Afyonkarahisar.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T. (2004). Afyon Mermer Tozu ve Soma Uçucu Kül Katkılı Betonların Donma-Çözülme Özellikleri ve Ekonomik Değerlendirilmesi, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- Ünver, E. (2015). Problemlili Kil Zeminlerin Uçucu Kül İle İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Üstümkol, F. N., Turabi, A. (2009). *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **1**: 15-27.
- Yılmaz, F. (2016). Zemin Stabilizasyonunda Uçucu Kül Kullanımı. 3rd International Symposium on Environment and Morality (ISEM2016), Alanya/Atalya.
- Wasti, Y. (1990). Uçucu Küllerin Geoteknik Özellikleri ve Kullanım Olanakları, *İMO Teknik Dergi*, **1**: Sayı.4, 177-188.
- Zorluer, İ., Gücek, S. (2015). Katkılı Zeminlerde Kür Süresi ve Zemin Suyunun Etkisi, 6. Geoteknik Sempozyumu Bildiri Kitabı, Adana.
- Zorluer, İ., Gücek, S. (2014). The effects marble dust and fly ash on clay soil, *Sci Eng. Compos mater*, **1**:59-67.
- Zorluer, İ., Usta, M. (2003). Zeminlerin atık mermer tozu ile iyileştirilmesi, Türkiye IV Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003) Bildiri kitabı, Afyonkarahisar.
- Zorluer, İ., Demirbaş, A. (2013). Use of marble dust and fly ash in stabilization of base material, *De Gruyter, Sci Eng Compos Mater* **20**(1): 47–55.
- Zorluer, İ., Gücek, S. (2016). Zemin İyileştirmede Endüstriyel Atıkların Dayanıma Etkisi Etkisi, 6. Geoteknik Sempozyumu Bildiri Kitabı, Adana.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Umut Doğuş KAÇMAZ
Doğum Yeri ve Tarihi : MERSİN 17.06.1992
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : +90 (506) 577 47 69

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Milli Piyango Anadolu Lisesi, (2006-2010)
Lisans : Ömer Halis Demir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, (2010-2015)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, (2015-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Sağlamlar Prefabrik Ltd. Şti (2015-2017)
Lider Yapı (2017-Devam Ediyor)
Cansan Prefabrik A.ş (2018-Devam Ediyor)

EKLER

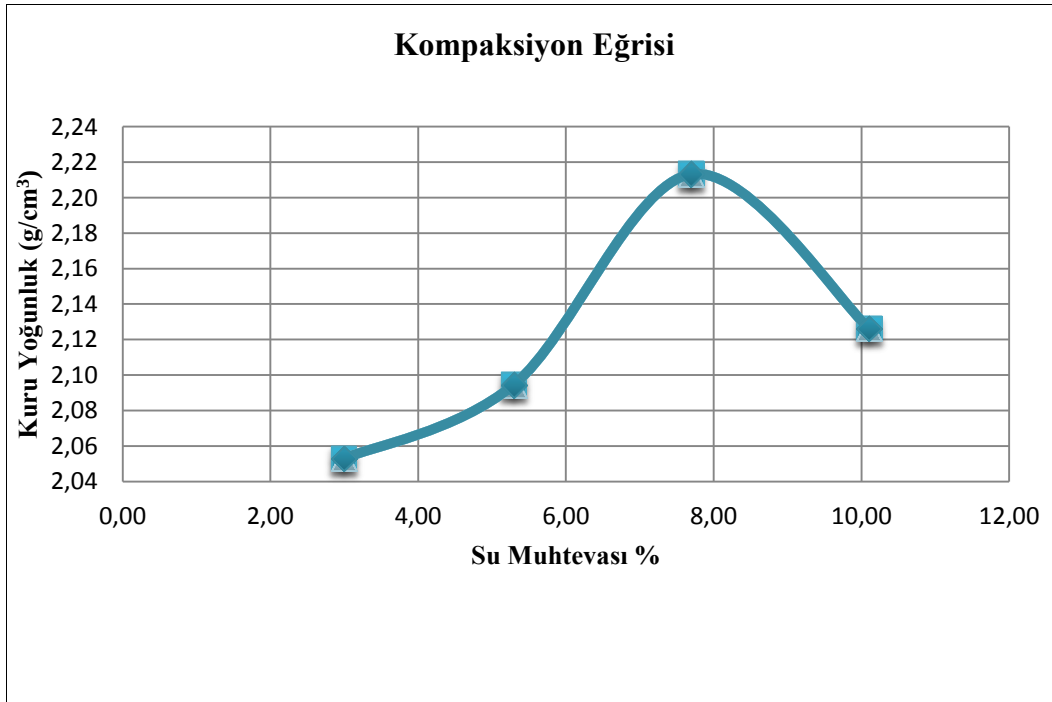
Ek-1 Karışimsız Kompaksiyon Deneyi

Deney no.	1		2		3		4	
Yaş Numune + kalıp	6120		6206		6374		6334	
Kalıp	4124		4124		4124		4124	
Yaş Numune	1996		2082		2250		2210	
Birim Hacim Ağırlığı	2,114		2,206		2,383		2,341	
Kap No.	S17	S13	B16	K47	S21	B11	K55	K46
Yaş Numune + Dara	79,1	75,1	76,1	72,6	76,6	91,3	99,9	114
Kuru Numune + Dara	77,2	73,6	73,2	70,5	72,3	86,4	91,9	106
Su Miktarı	1,89	1,53	2,87	2,12	4,27	4,83	8	7,32
Dara	18,2	18,6	21,4	28,5	19	21	21,6	23,5
Kuru Numune	59	55	51,8	42	53,4	65,4	70,3	82,9
Su muhtevası (%)	3,21	2,78	5,54	5,05	8	7,39	11,4	8,84
Ortalama su muhtevası (%)	2,99		5,30		7,69		10,11	
Kuru Birim Hacim Ağırlığı	2,05		2,09		2,21		2,13	

* Standart Proktor (kompaksiyon) deneyinde kalıbın hacmi 944 cm³ alınmıştır.

* Deneyin Her aşamasında 100gr su aşamalı olarak eklenmiştir.

* Yaş numune 24 saat etüvde bekletilerek kuru numune elde edilmiştir.



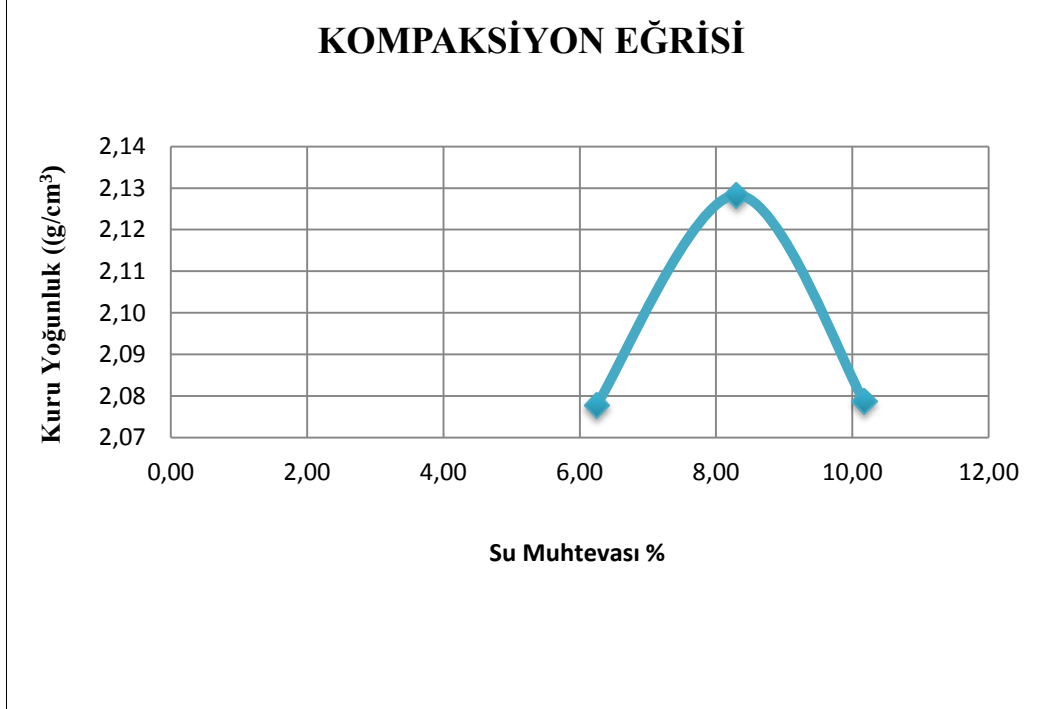
Ek-2 G+5MT+5UK Kompaksiyon Deneyi

Deney no.	1		2		3	
Yaş Numune + Kap	6168		6260		6246	
Kap	4084		4084		4084	
Yaş Numune	2084		2176		2162	
Birim Hacim Ağırlığı	2,208		2,305		2,290	
Kap No.	S27	S1	B4	B3	B5	S10
Yaş Numune + Dara	43,8	50,9	67	53,5	72,2	64,7
Kuru Numune + Dara	42,2	49,1	63,8	51,2	67,8	60,5
Su Miktarı	1,53	1,83	3,17	2,35	4,4	4,28
Dara	18,6	18,7	23,5	24,3	24,5	18,4
Kuru Numune	23,6	30,4	40,3	26,9	43,3	42
Su muhtevası (%)	6,48	6,01	7,86	8,74	10,2	10,2
Ortalama su muhtevası (%)	6,25		8,30		10,17	
Kuru Birim Hacim Ağırlığı	2,08		2,13		2,08	

* Standart Proktor (kompaksiyon) deneyinde kalıbın hacmi 944 cm³ alınmıştır.

* Deneyin Her aşamasında 100gr su aşamalı olarak eklenmiştir.

* Yaş numune 24 saat etüvde bekletilerek kuru numune elde edilmiştir.



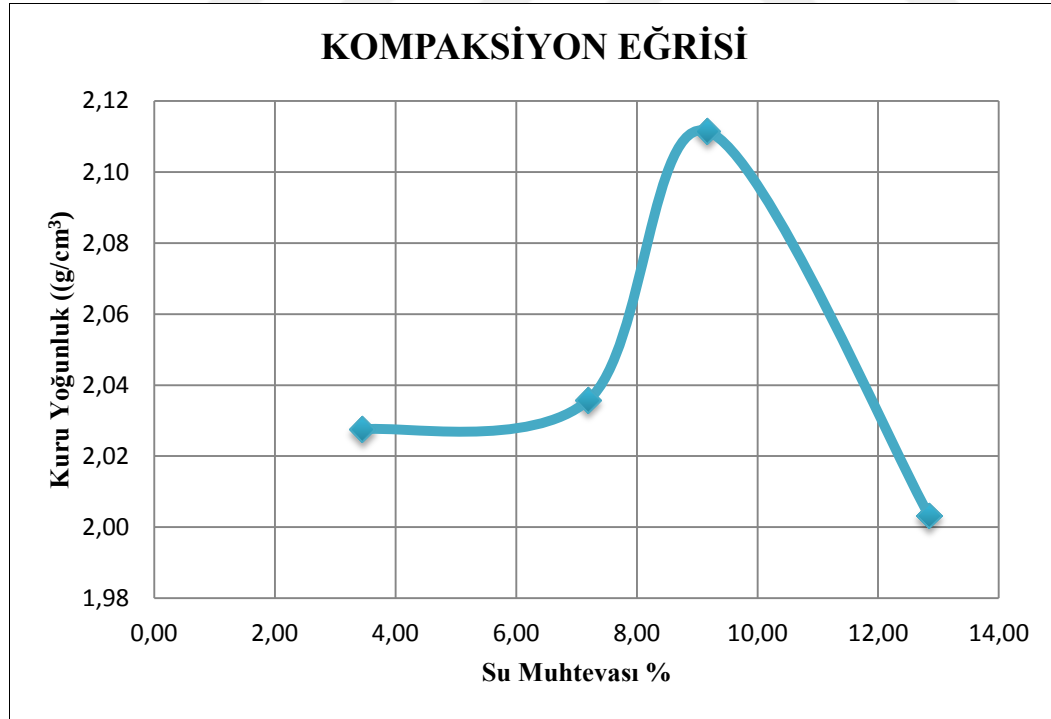
Ek-3 G+10MT+10UK Kompaksiyon Deneyi

Deney no.	1		2		3		4	
Yaş Numune + Kap	6064		6144		6260		6218	
Kap	4084		4084		4084		4084	
Yaş Numune	1980		2060		2176		2134	
Birim Hacim Ağırlığı	2,097		2,182		2,305		2,261	
Kap No.	B10	B20	S12	S23	B9	K51	S20	S13
Yaş Numune + Dara	57,4	63	61,9	49	64,5	59,4	68,3	60,4
Kuru Numune + Dara	56,4	61,7	59,1	46,8	61,1	56	63	55,4
Su Miktarı	1,03	1,36	2,76	2,19	3,38	3,36	5,31	5,08
Dara	25,1	24	18,5	18	21	22,2	18,3	18,6
Kuru Numune	31,3	37,6	40,7	28,8	40,2	33,9	44,7	36,8
Su muhtevası (%)	3,29	3,61	6,79	7,6	8,42	9,93	11,9	13,8
Ortalama su muhtevası (%)	3,45		7,19		9,17		12,85	
Kuru Birim Hacim Ağırlığı	2,03		2,04		2,11		2,00	

* Standart Proktor (kompaksiyon) deneyinde kalıbın hacmi 944 cm³ alınmıştır.

* Deneyin Her aşamasında 120gr su aşamalı olarak eklenmiştir.

* Yaş numune 24 saat etüvde bekletilerek kuru numune elde edilmiştir.



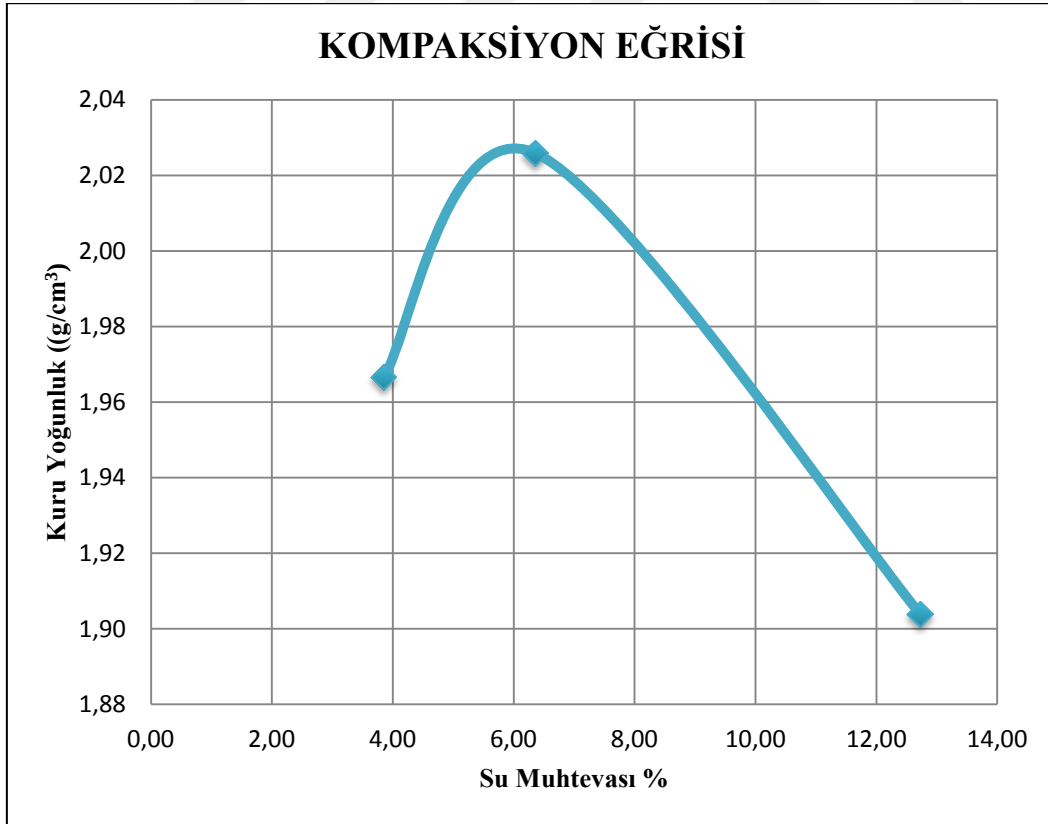
Ek-4 G+15MT+15UK Kompaksiyon Deneyi

Deney no.	1		2		3	
Yaş Numune + Kap	6012		6118		6110	
Kap	4084		4084		4084	
Yaş Numune	1928		2034		2026	
Birim Hacim Ağırlığı	2,042		2,155		2,146	
Kap No.	S19	S52	B16	B2	S15	B14
Yaş Numune + Dara	43,2	48,5	64,5	50,1	58,2	73,1
Kuru Numune + Dara	42,2	47,6	62,2	48,3	53,7	67,8
Su Miktarı	0,95	0,86	2,24	1,73	4,51	5,34
Dara	19,3	23,5	21,4	24,4	18,7	25,3
Kuru Numune	22,9	24,2	40,8	24	35	42,5
Su muhtevası (%)	4,14	3,56	5,49	7,22	12,9	12,6
Ortalama su muhtevası (%)	3,85		6,35		12,73	
Kuru Birim Hacim Ağırlığı	1,97		2,03		1,90	

* Standart Proktor (kompaksiyon) deneyinde kalıbın hacmi 944 cm³ alınmıştır.

* Deneyin Her aşamasında 120gr su aşamalı olarak eklenmiştir.

* Yaş numune 24 saat etüvde bekletilerek kuru numune elde edilmiştir.



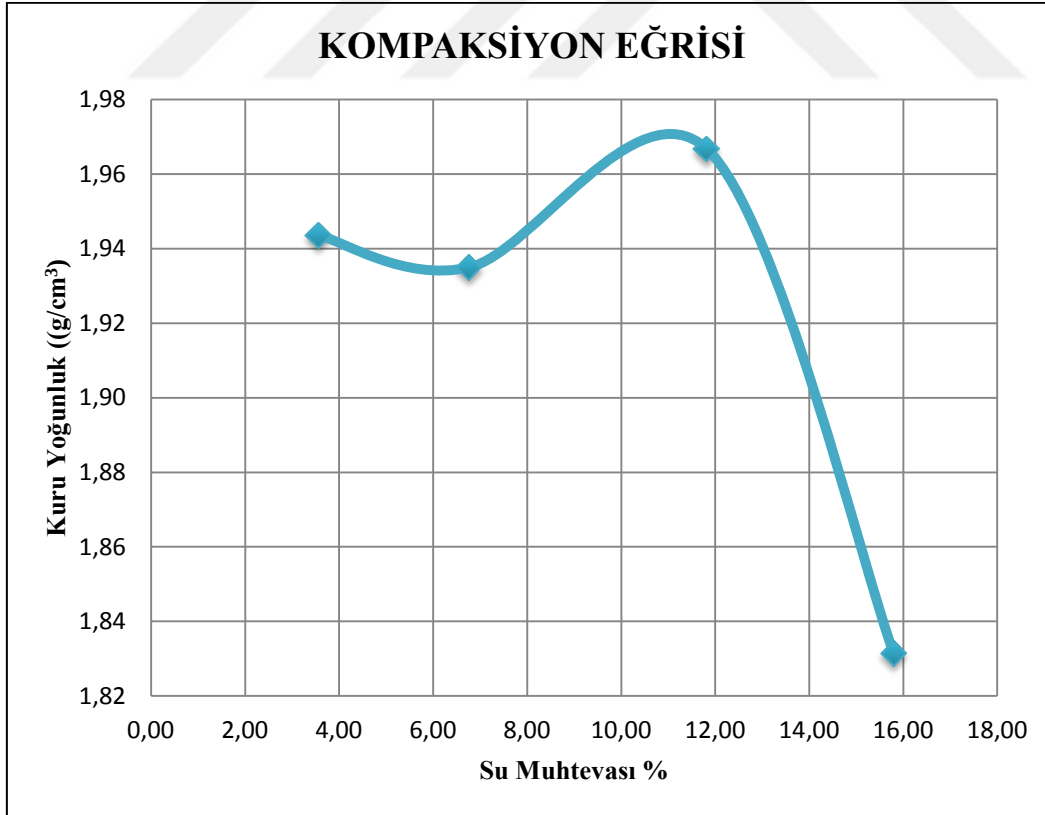
Ek-5 G+20MT+20UK Kompaksiyon Deneyi

Deney no.	1		2		3		4	
Yaş Numune + Kap	5984		6034		6160		6086	
Kap	4084		4084		4084		4084	
Yaş Numune	1900		1950		2076		2002	
Birim Hacim Ağırlığı	2,013		2,066		2,199		2,121	
Kap No.	K42	S8	B7	K56	S17	K43	S51	S21
Yaş Numune + Dara	63,6	50,9	62,2	62,6	51,8	68	80,6	75,6
Kuru Numune + Dara	62,4	49,8	59,6	60,6	47,7	64	70,7	68,7
Su Miktarı	1,18	1,15	2,59	2	4,11	4,04	9,87	6,94
Dara	27,2	19,2	24,6	27,9	18,3	22,1	15	18,7
Kuru Numune	35,2	30,6	35	32,7	29,4	41,9	55,7	50
Su muhtevası (%)	3,35	3,76	7,4	6,11	14	9,64	17,7	13,9
Ortalama su muhtevası (%)	3,56		6,76		11,81		15,80	
Kuru Birim Hacim Ağırlığı	1,94		1,93		1,97		1,83	

* Standart Proktor (kompaksiyon) deneyinde kalıbın hacmi 944 cm³ alınmıştır.

* Deneyin ilk aşamasında 100gr, ikinci aşamasında 120gr, üçüncü aşamasında 150gr, dördüncü aşamasında 180 gr su olarak eklenmiştir.

* Yaş numune 24 saat etüvde bekletilerek kuru numune elde edilmiştir.



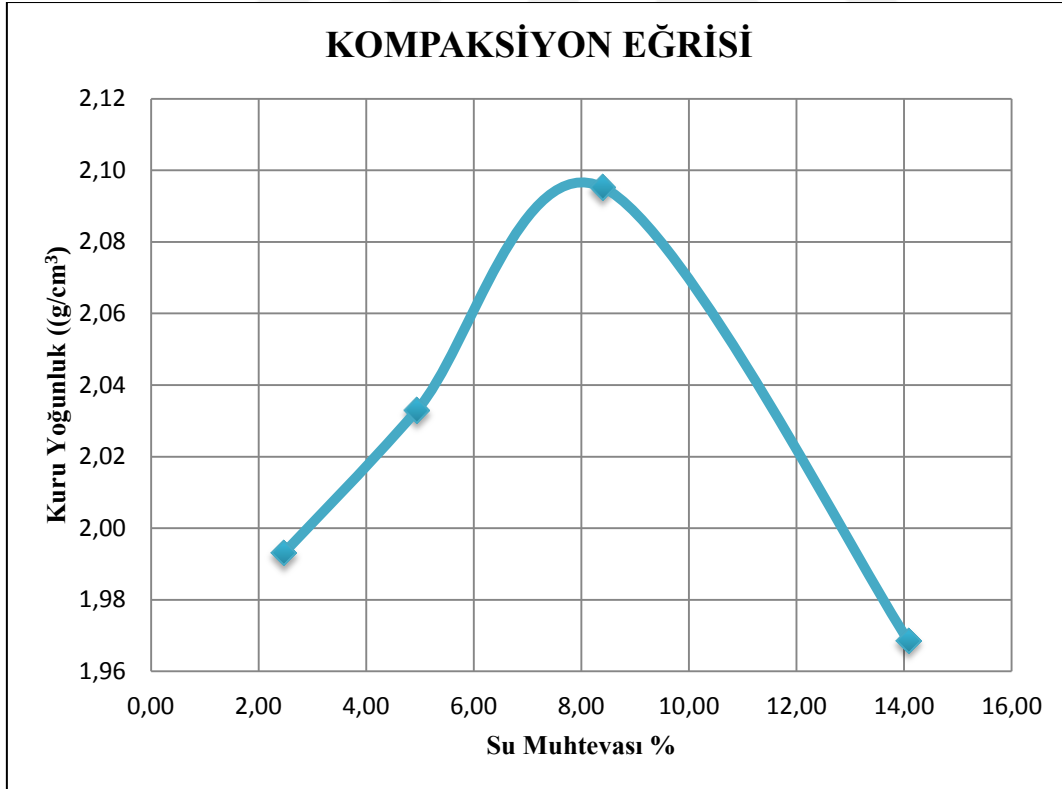
Ek-6 G+10MT+20UK Kompaksiyon Deneyi

Deney no.	1		2		3		4	
Yaş Numune + Kap	6012		6098		6228		6204	
Kap	4084		4084		4084		4084	
Yaş Numune	1928		2014		2144		2120	
Birim Hacim Ağırlığı	2,042		2,133		2,271		2,246	
Kap No.	S24	S11	S4	K53	S7	S18	K55	B22
Yaş Numune + Dara	57,7	55,4	63,4	63,6	56,5	56,9	99,7	87,9
Kuru Numune + Dara	56,8	54,5	61,4	61,9	53,6	53,9	89,1	80,6
Su Miktarı	0,95	0,88	2,02	1,69	2,92	3,01	10,6	7,29
Dara	18,7	18,5	18,4	29,3	19	17,8	21,6	22
Kuru Numune	38,1	36	43	32,6	34,6	36,1	67,5	58,5
Su muhtevası (%)	2,5	2,45	4,7	5,18	8,44	8,35	15,7	12,5
Ortalama su muhtevası (%)	2,47		4,94		8,40		14,08	
Kuru Birim Hacim Ağırlığı	1,99		2,03		2,10		1,97	

* Standart Proktor (kompaksiyon) deneyinde kalıbın hacmi 944 cm³ alınmıştır.

* Deneyin Her aşamasında 130gr su aşamalı olarak eklenmiştir.

* Yaş numune 24 saat etüvde bekletilerek kuru numune elde edilmiştir.



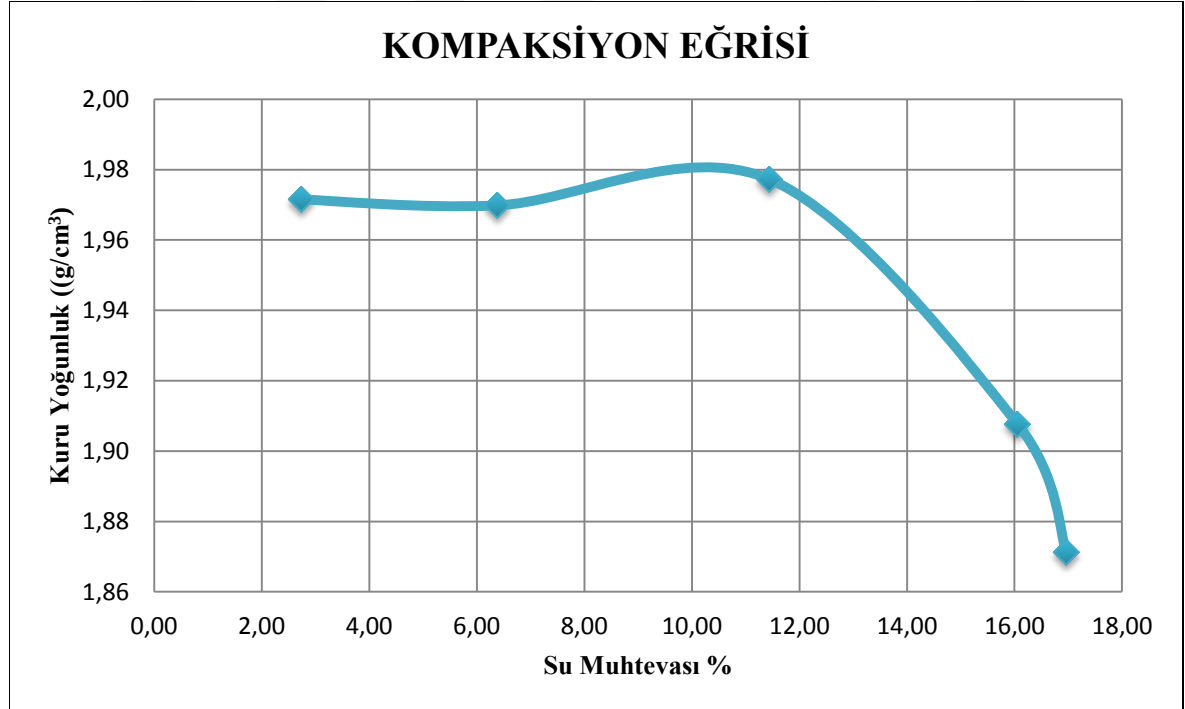
Ek-7 G+15MT+30UK Kompaksiyon Deneyi

Deney no.	1		2		3		4		5	
Yaş Numune + Kap	5996		6062		6164		6174		6150	
Kap	4084		4084		4084		4084		4084	
Yaş Numune	1912		1978		2080		2090		2066	
Birim Hacim Ağırlığı	2,025		2,095		2,203		2,214		2,189	
Kap No.	K44	D6	D16	S14	K57	B15	S9	B8	B13	S2
Yaş Numune + Dara	79	47,2	61	55,4	66,3	69,8	93	78,7	74,7	98,5
Kuru Numune + Dara	77,7	46,5	58,5	53,2	61,8	64,7	81,2	72,4	66	88,6
Su Miktarı	1,3	0,79	2,51	2,26	4,48	5,07	11,8	6,23	8,63	9,97
Dara	28,3	18,6	18	18,7	21,6	21,5	18,8	25	22,1	18,7
Kuru Numune	49,4	27,8	40,5	34,5	40,3	43,2	62,3	47,4	43,9	69,9
Su muhtevası (%)	2,63	2,84	6,19	6,55	11,1	11,7	19	13,1	19,7	14,3
Ortalama su muhtevası (%)	2,73		6,37		11,43		16,05		16,96	
Kuru Birim Hacim Ağırlığı	1,97		1,97		1,98		1,91		1,87	

* Standart Proktor (kompaksiyon) deneyinde kalıbın hacmi 944 cm³ alınmıştır.

* Deneyin ilk aşamasında 130gr, ikinci aşamasında 150gr, üçüncü aşamasında 220gr, dördüncü aşamasında 200 gr su ve son olarak 100gr su eklenmiştir.

* Yaş numune 24 saat etüvde bekletilerek kuru numune elde edilmiştir.



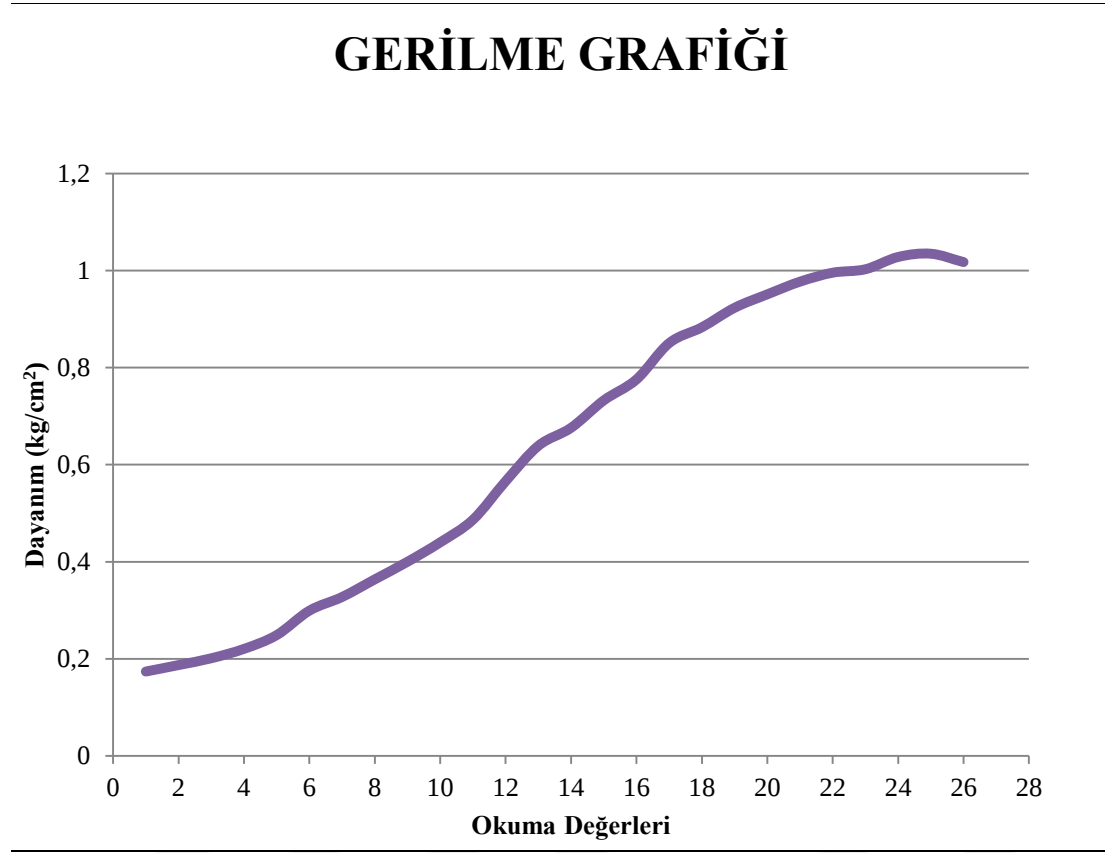
Ek-8 Serbest Basınç Deneyi Sonuçları ve Gerilme Grafikleri

Numunelerin Karışım Oranlarına ve Günlere Göre Kırılma Anındaki En Büyük Dayanım Değerleri

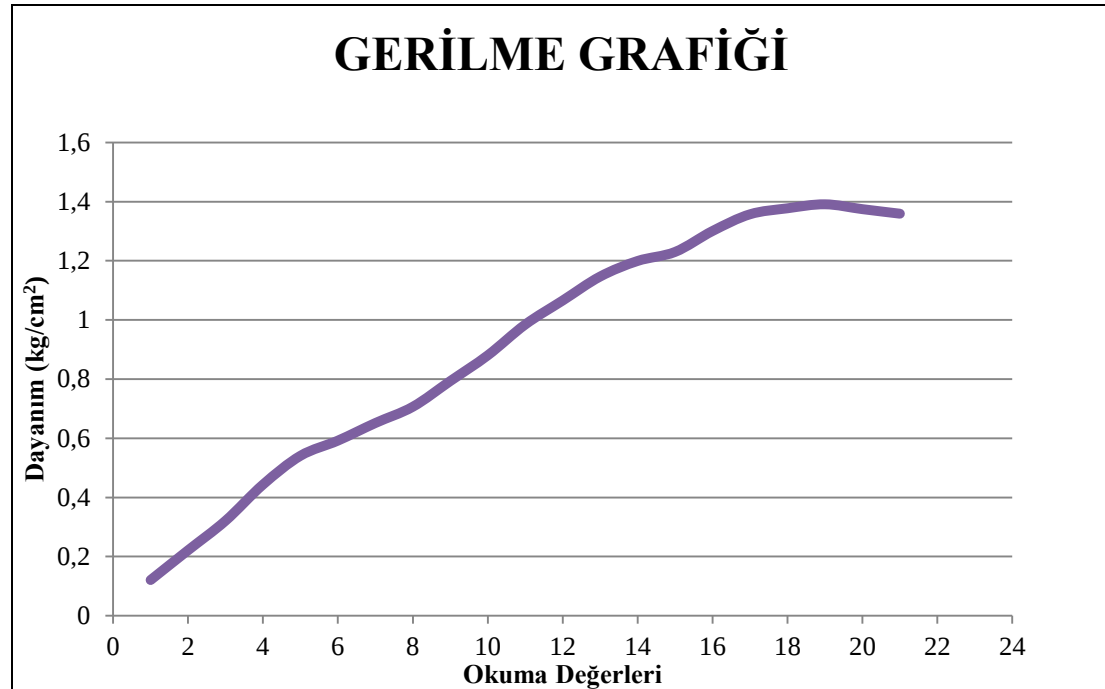
		1 Gün	7 Gün	28 Gün
Katkısız Numuneler	Yük (kg)	88,15	44,20	59,60
	Alan (cm ²)	85,20	90,77	83,96
	Dayanım kg/cm ²	1,03	0,49	0,71
G+%5MT+%5UK	Yük (kg)	116,95	214,20	1305,00
	Alan (cm ²)	84,07	87,40	82,24
	Dayanım kg/cm ²	1,39	2,45	15,87
G+%10MT+%10UK	Yük (kg)	176,55	561,15	1550,00
	Alan (cm ²)	83,69	83,41	85,40
	Dayanım kg/cm ²	2,11	6,73	18,15
G+%15MT+%15UK	Yük (kg)	106,70	353,05	1210,00
	Alan (cm ²)	85,11	82,80	84,73
	Dayanım kg/cm ²	1,25	4,26	14,28
G+%10MT+%20UK	Yük (kg)	242,30	497,70	1710,00
	Alan (cm ²)	84,23	84,47	84,50
	Dayanım kg/cm ²	2,88	5,90	20,24
G+%20MT+%20UK	Yük (kg)	148,05	403,10	1460,00
	Alan (cm ²)	84,38	84,37	84,35
	Dayanım kg/cm ²	1,75	4,78	17,31
G+%15MT+%30UK	Yük (kg)	173,45	549,90	2212,50
	Alan (cm ²)	83,58	84,36	84,57
	Dayanım kg/cm ²	2,08	6,52	26,16

Yukarıdaki tabloda kullanılan tüm numunelerin 1, 7, 28 günlük gerilme grafikleri (okuma değeri-dayanım), Ek 8'in devamı olarak aşağıda ifade edilmiştir. Her grafiğin altında hangi karışıma ait oldukları açıklama olarak verilmiştir.

Ek-8 (Devam) Serbest Basınç Deneyi Sonuçları ve Gerilme Grafikleri

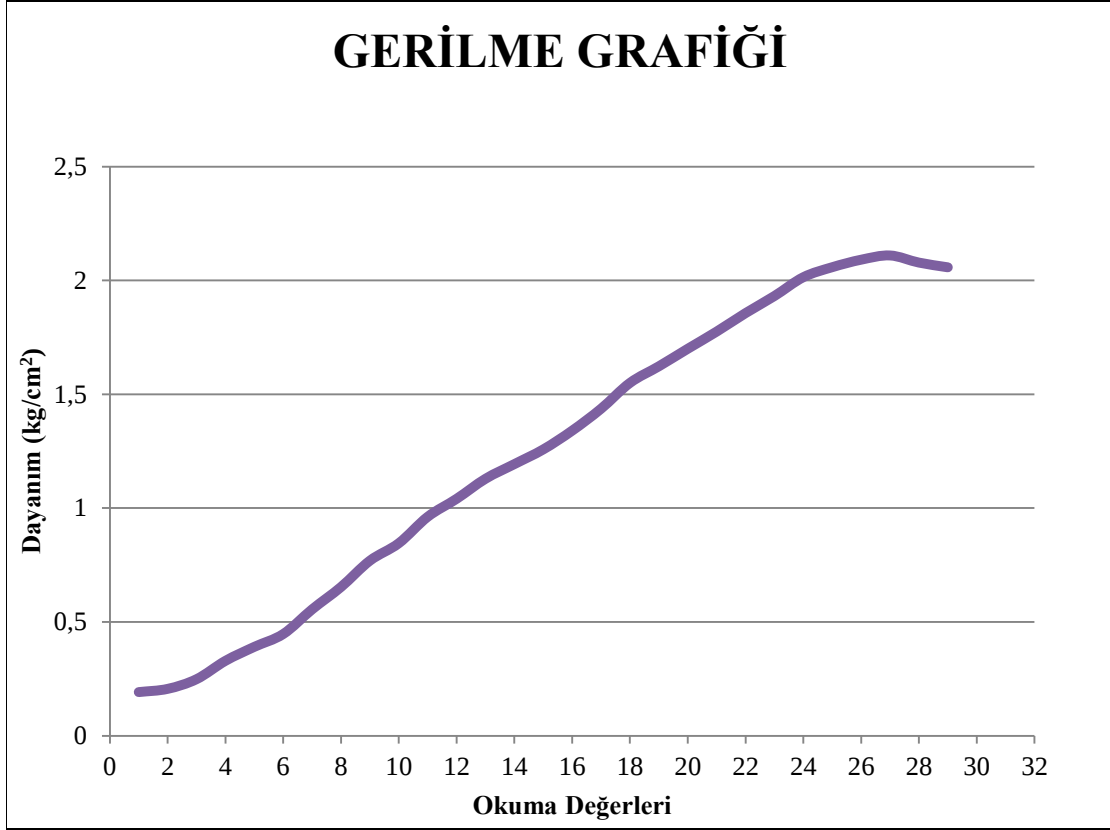


Katkısız Hazırlanmış Numunelerin 1 Günlük Gerilme Grafiği

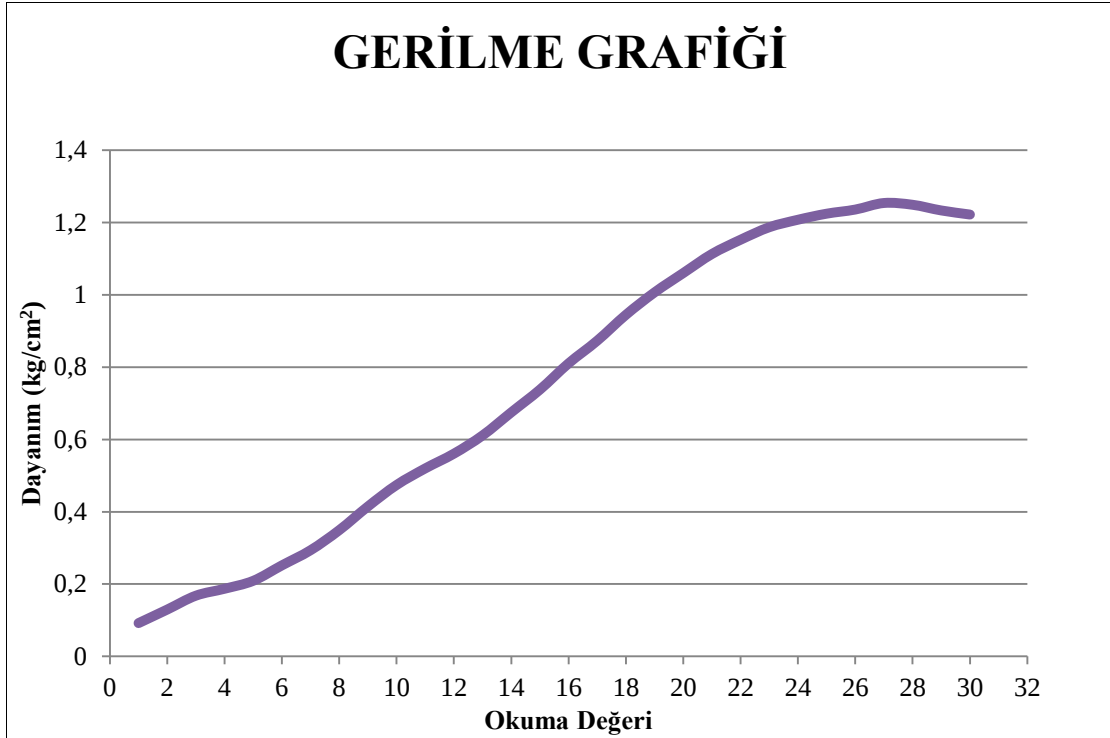


G+5MT+5UK Hazırlanmış Numunelerin 1 Günlük Gerilme Grafiği

Ek-8 (Devam) Serbest Basınç Deneyi Sonuçları ve Gerilme Grafikleri



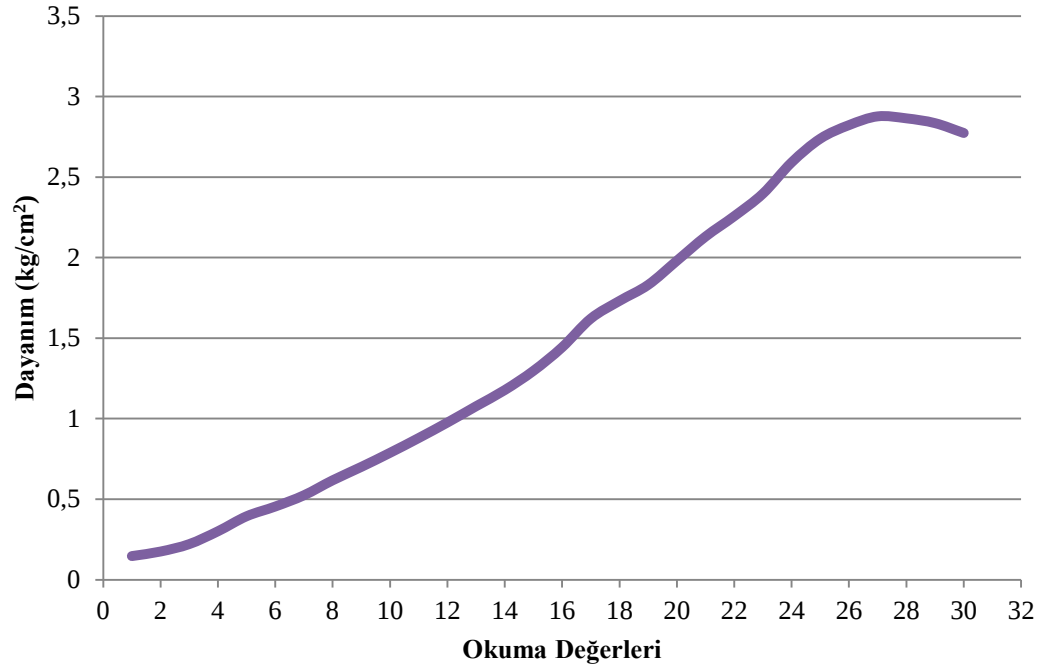
G+10MT+10UK Hazırlanmış Numunelerin 1 Günlük Gerilme Grafiği



G+15MT+15UK Hazırlanmış Numunelerin 1 Günlük Gerilme Grafiği

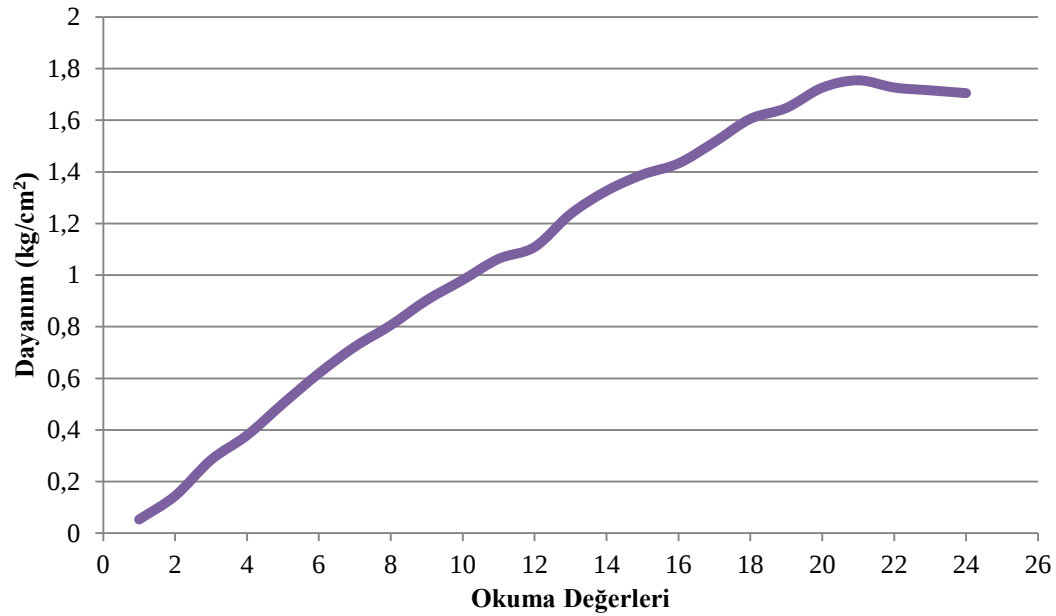
Ek-8 (Devam) Serbest Basınç Deneyi Sonuçları ve Gerilme Grafikleri

GERİLME GRAFİĞİ



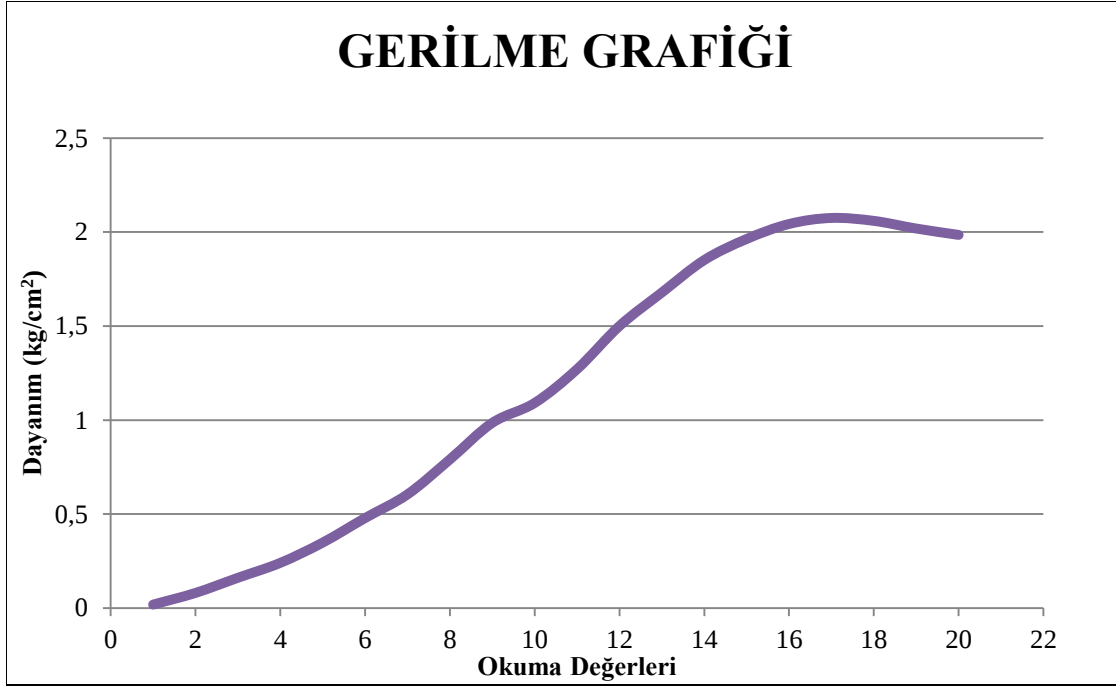
G+10MT+20UK Hazırlanmış Numunelerin 1 Günlük Gerilme Grafiği

GERİLME GRAFİĞİ

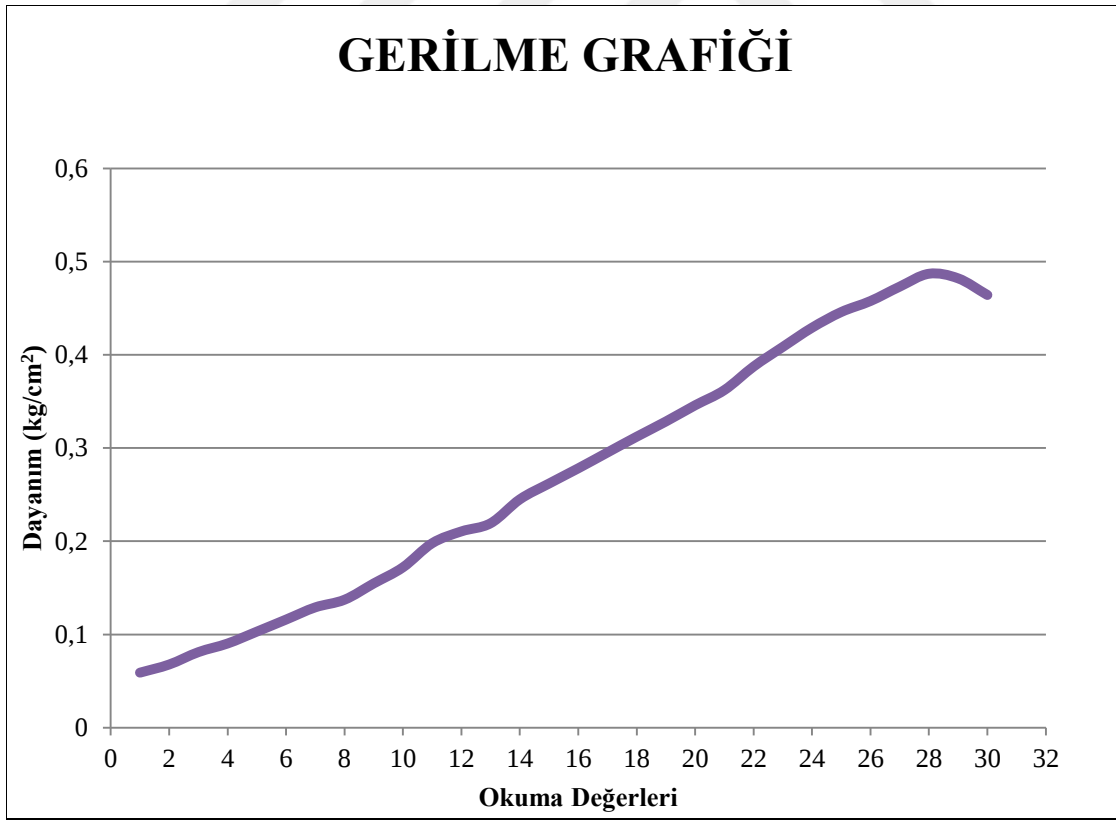


G+20MT+20UK Hazırlanmış Numunelerin 1 Günlük Gerilme Grafiği

Ek-8 (Devam) Serbest Basınç Deneyi Sonuçları ve Gerilme Grafikleri

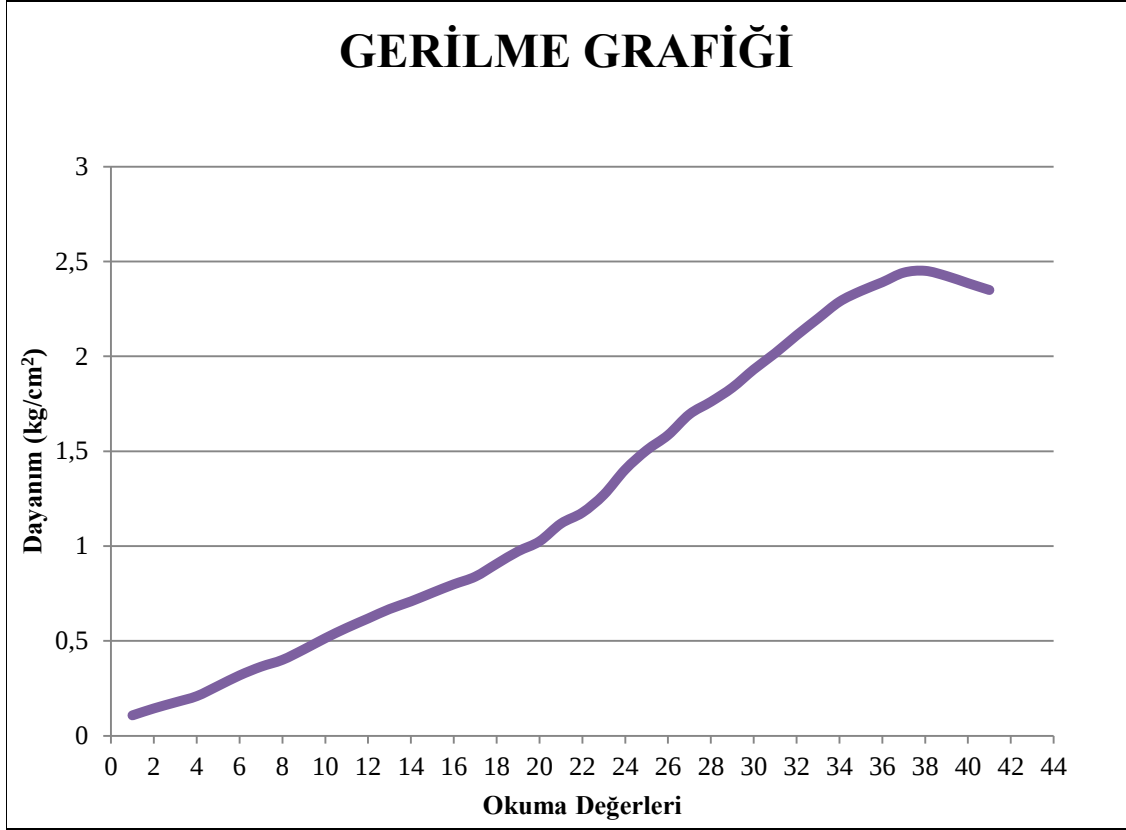


G+15MT+30UK Hazırlanmış Numunelerin 1 Günlük Gerilme Grafiği

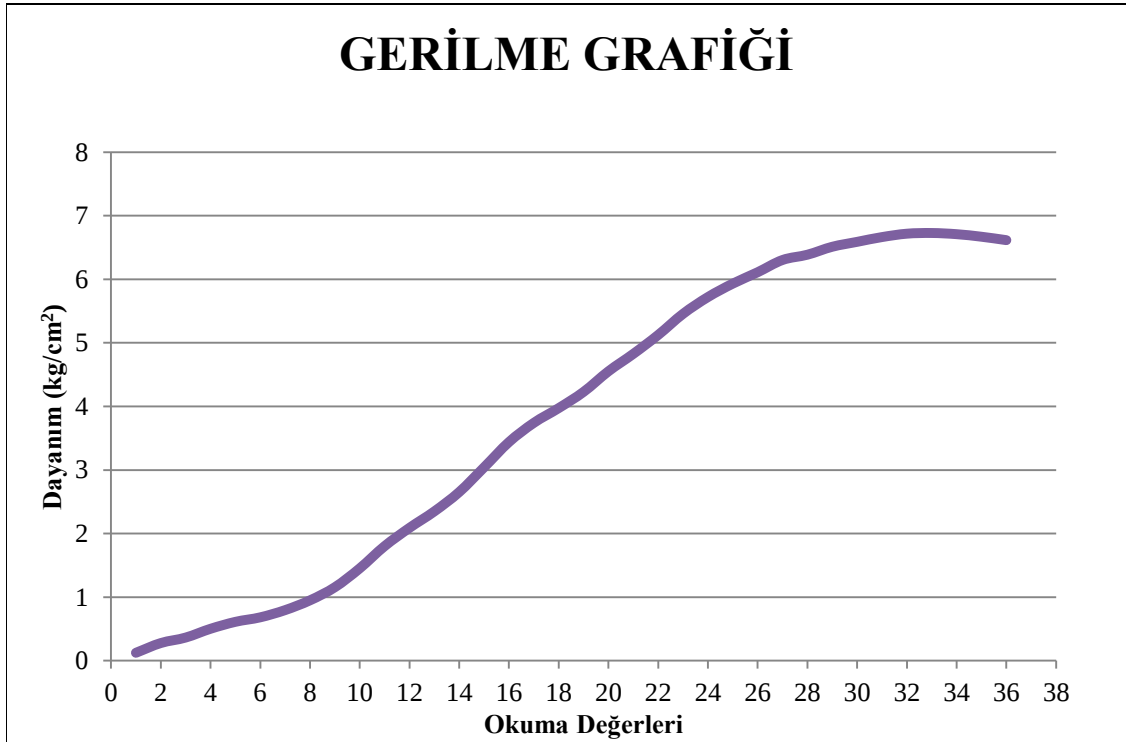


Katkısız Hazırlanmış Numunelerin 7 Günlük Gerilme Grafiği

Ek-8 (Devam) Serbest Basınç Deneyi Sonuçları ve Gerilme Grafikleri

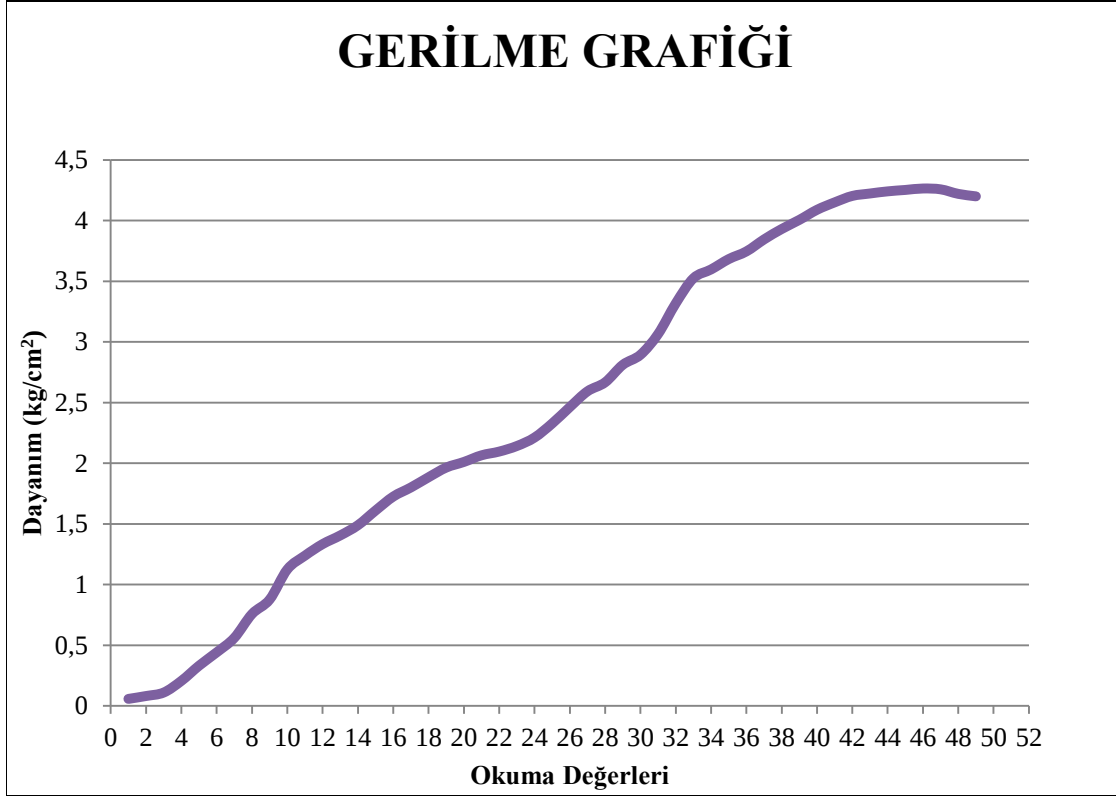


G+5MT+5UK Hazırlanmış Numunelerin 7 Günlük Gerilme Grafiği

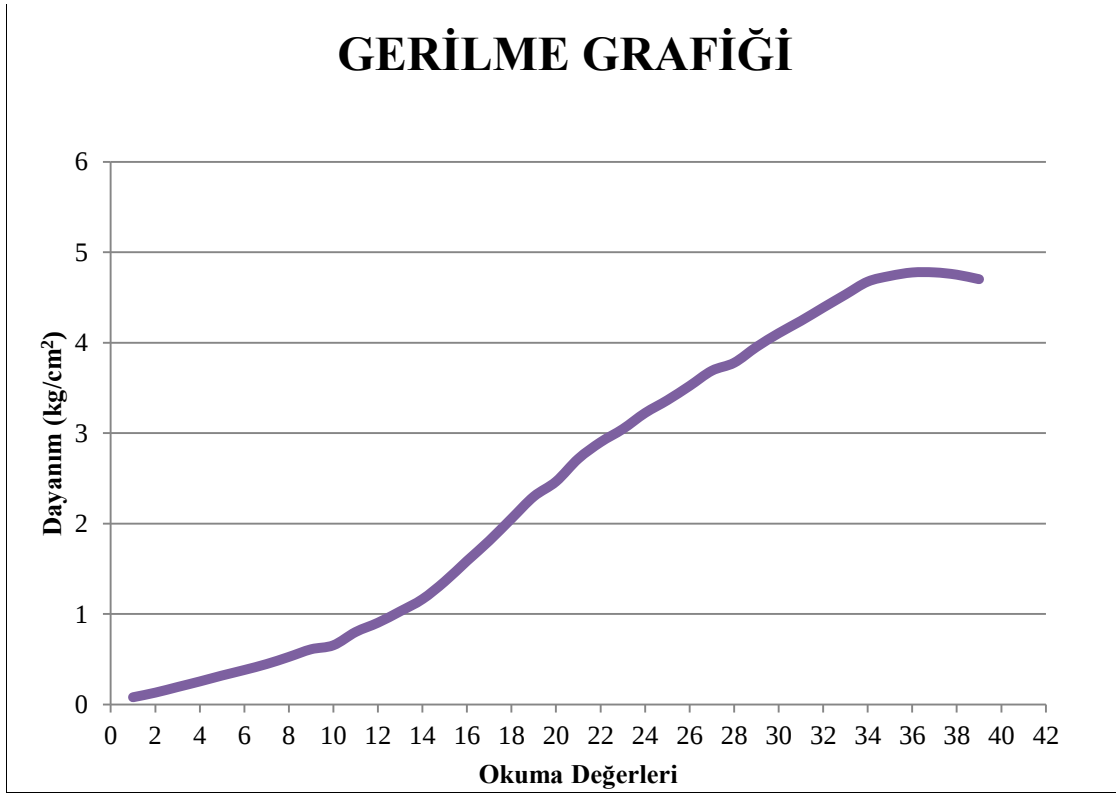


G+10MT+10UK Hazırlanmış Numunelerin 7 Günlük Gerilme Grafiği

Ek-8 (Devam) Serbest Basınç Deneyi Sonuçları ve Gerilme Grafikleri

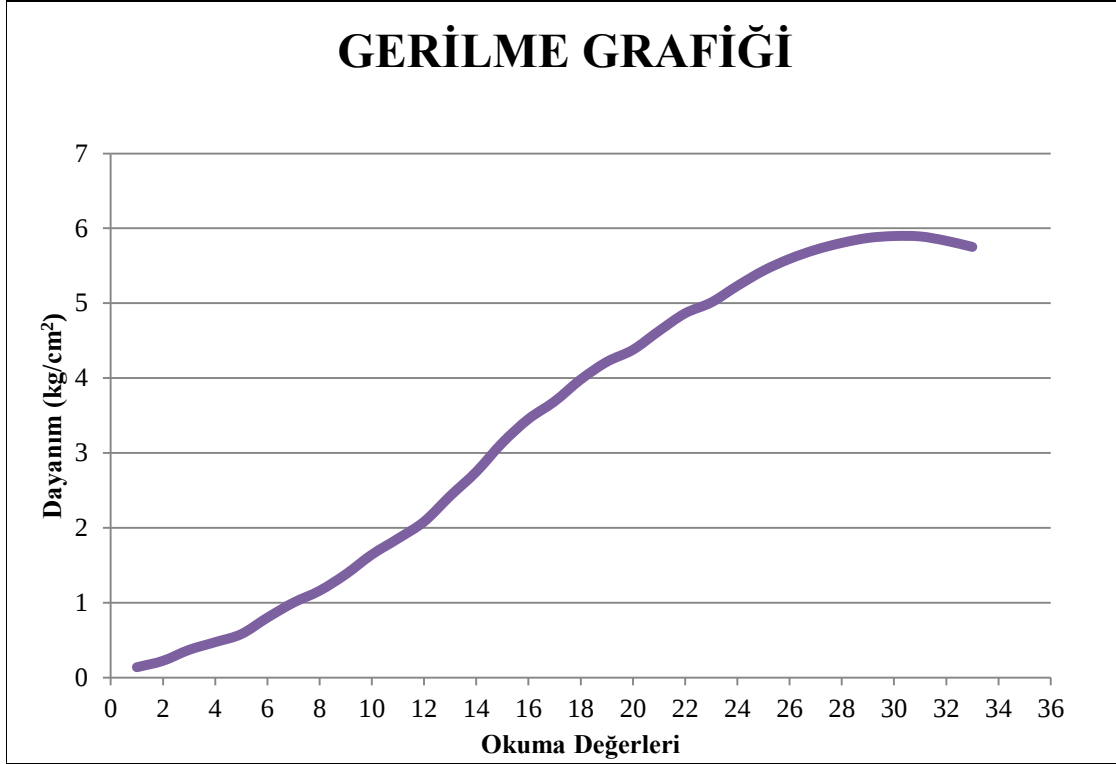


G+15MT+15UK Hazırlanmış Numunelerin 7 Günlük Gerilme Grafiği

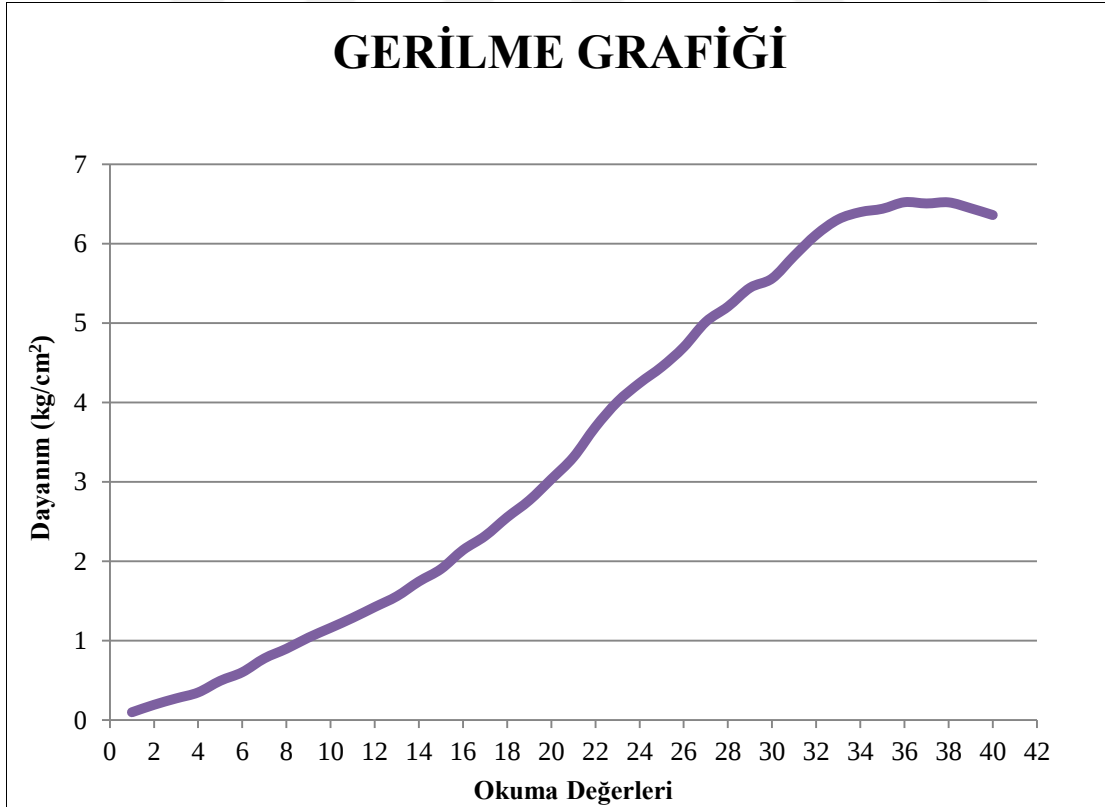


G+20MT+20UK Hazırlanmış Numunelerin 7 Günlük Gerilme Grafiği

Ek-8 (Devam) Serbest Basınç Deneyi Sonuçları ve Gerilme Grafikleri

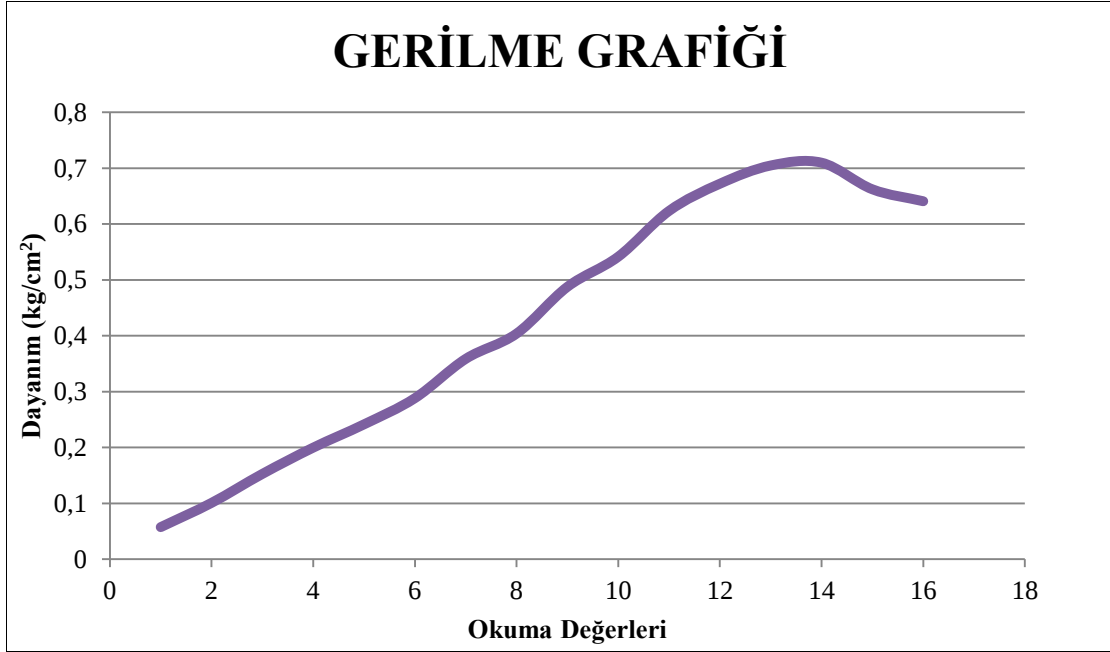


G+10MT+20UK Hazırlanmış Numunelerin 7 Günlük Gerilme Grafiği

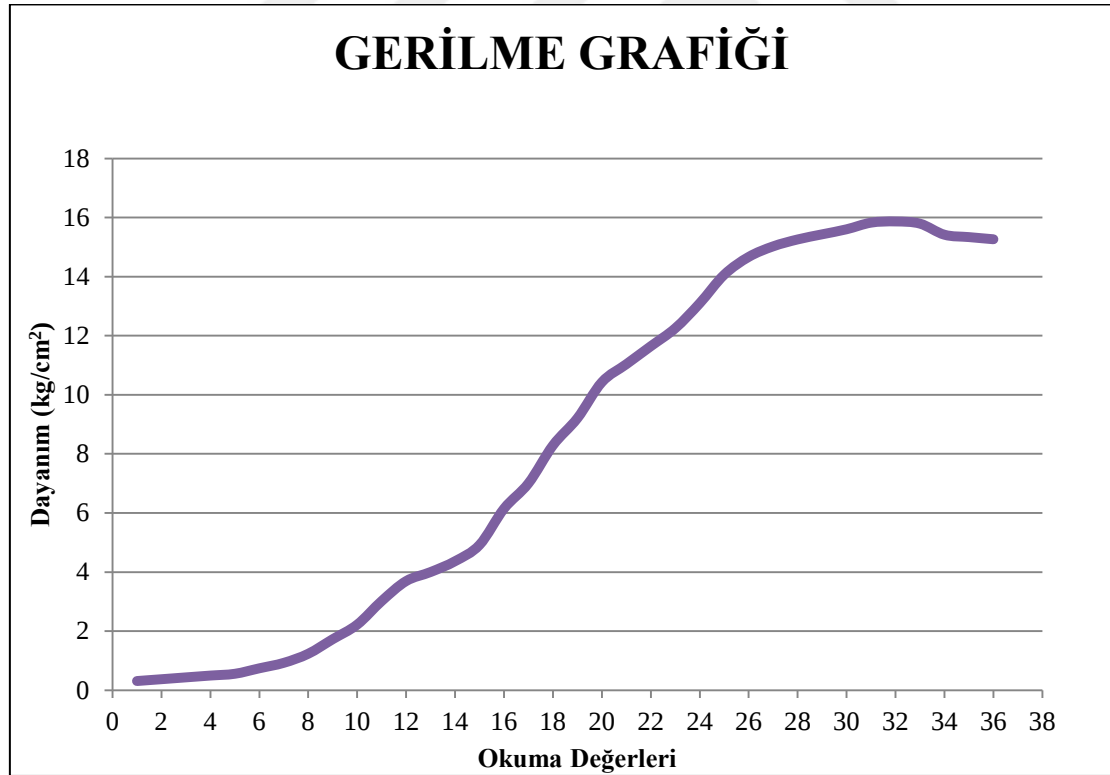


G+15MT+30UK Hazırlanmış Numunelerin 7 Günlük Gerilme Grafiği

Ek-8 Serbest Basınç Deneyi Sonuçları ve Gerilme Grafikleri (Devam)

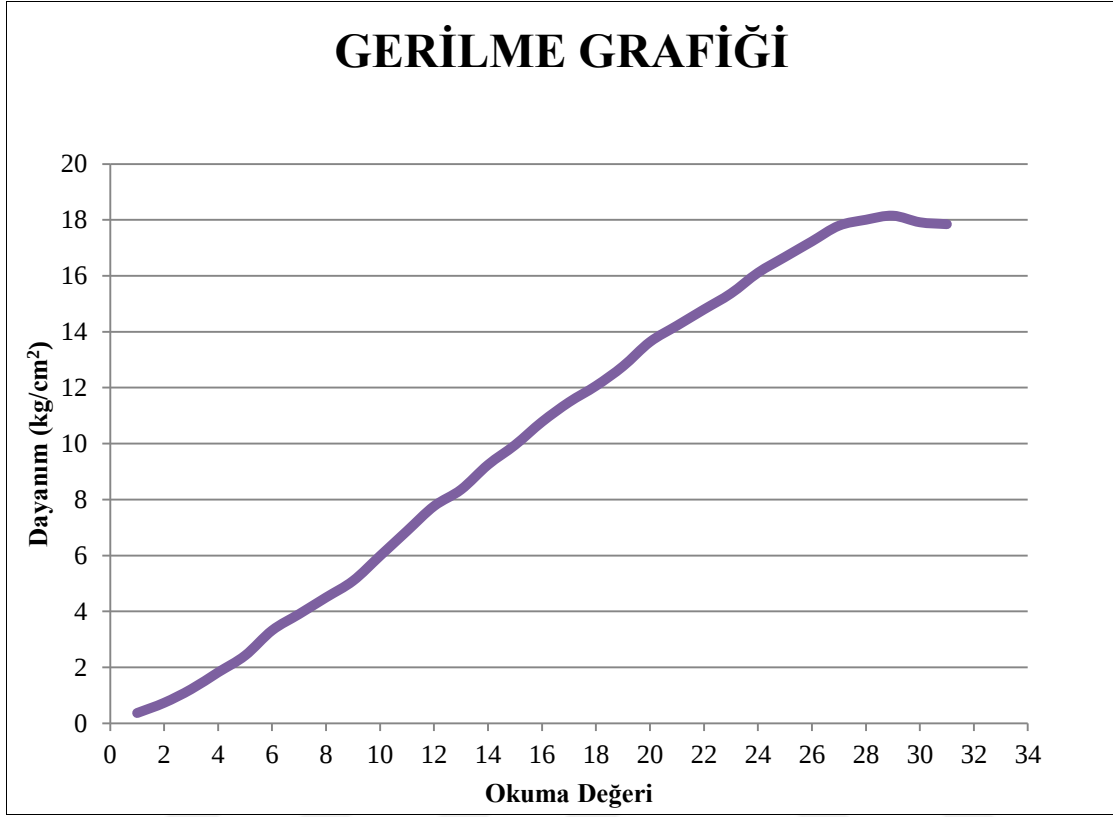


Katkısız Hazırlanmış Numunelerin 28 Günlük Gerilme Grafiği

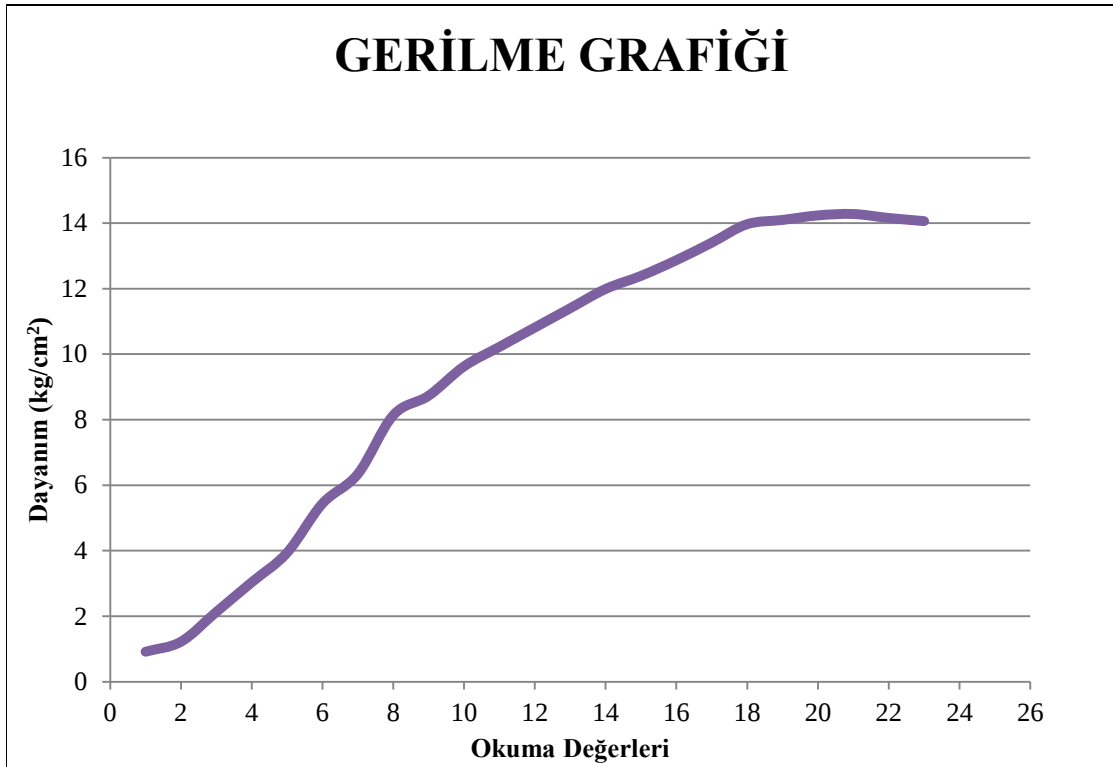


G+5MT+5UK Hazırlanmış Numunelerin 28 Günlük Gerilme Grafiği

Ek-8 Serbest Basınç Deneyi Sonuçları ve Gerilme Grafikleri (Devam)

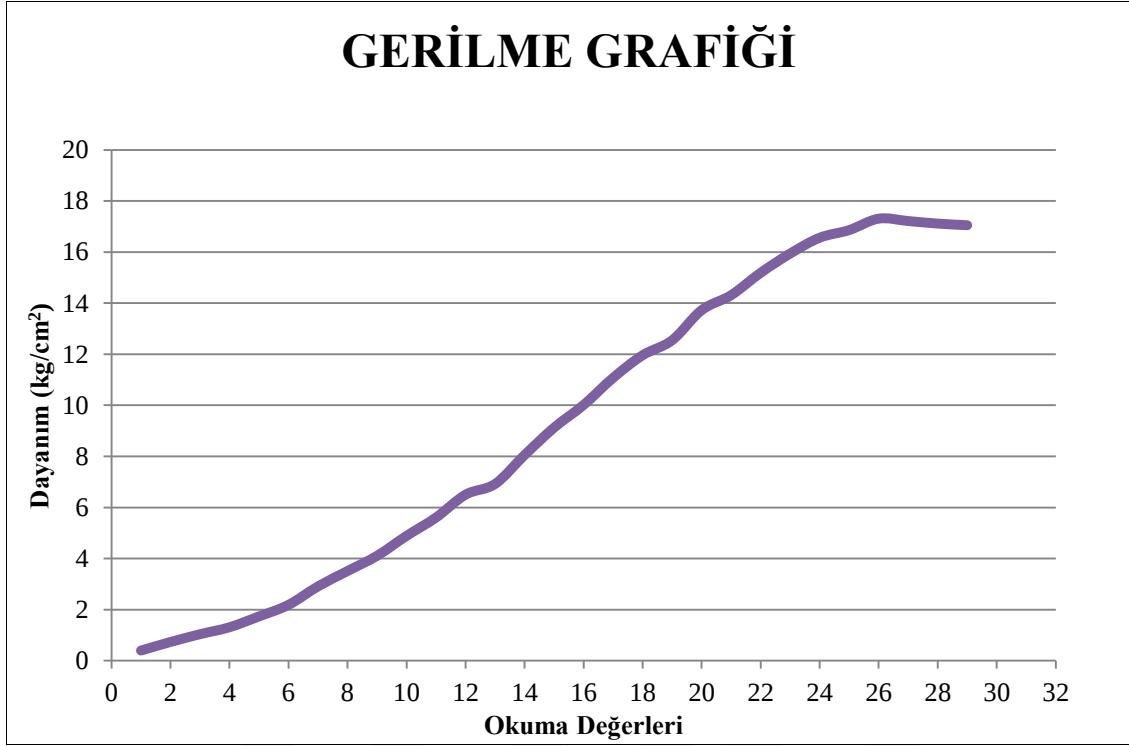


G+10MT+10UK Hazırlanmış Numunelerin 28 Günlük Gerilme Grafiği

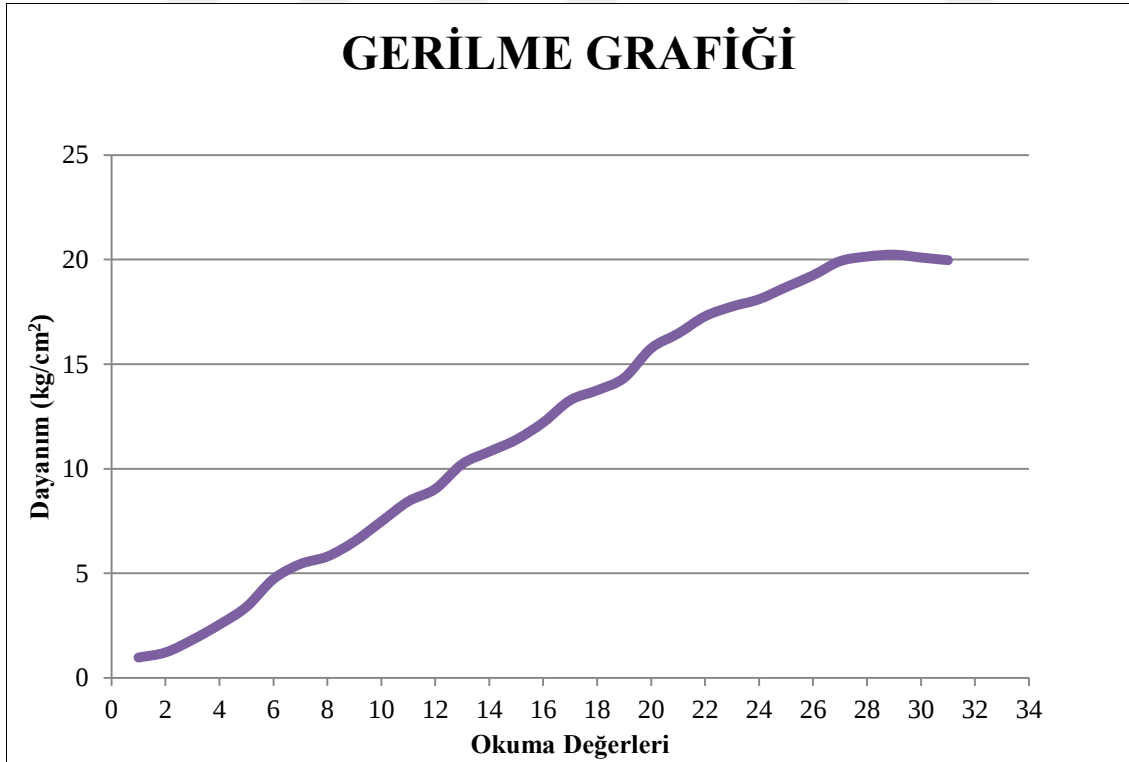


G+15MT+15UK Hazırlanmış Numunelerin 28 Günlük Gerilme Grafiği

Ek-8 Serbest Basınç Deneyi Sonuçları ve Gerilme Grafikleri (Devam)

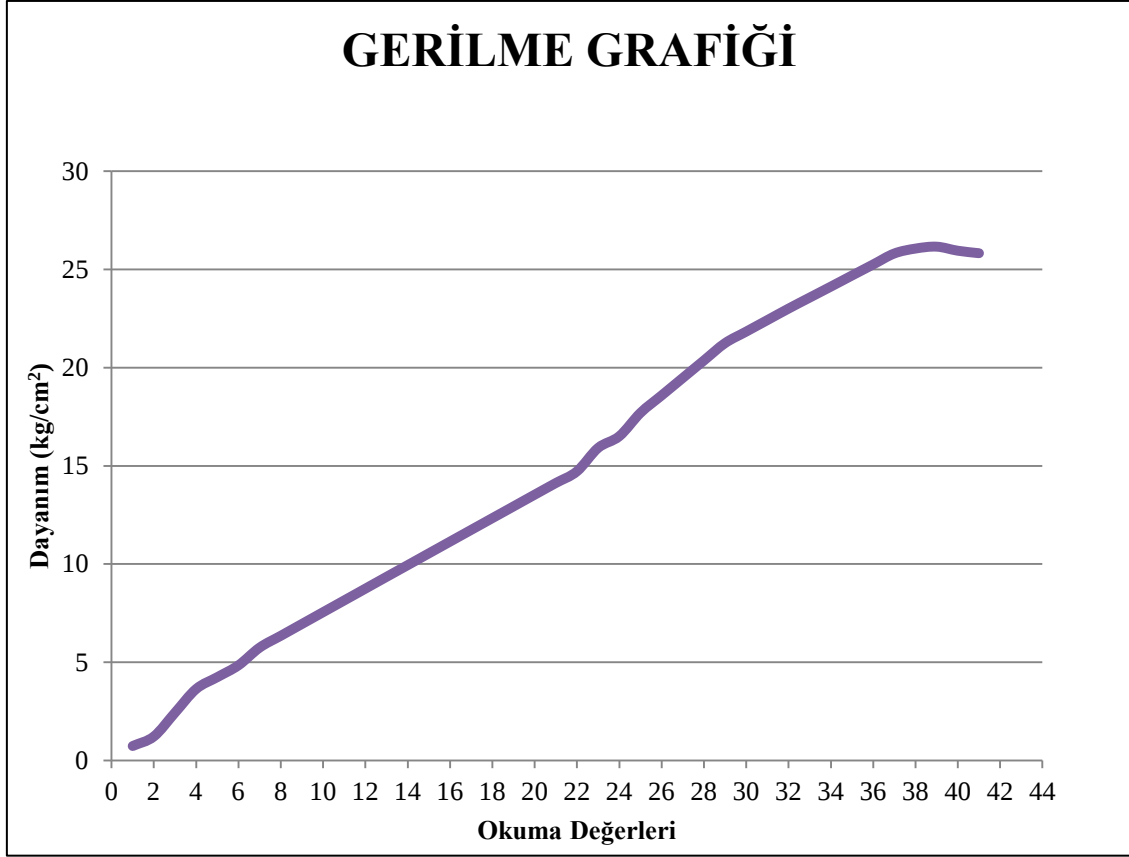


G+20MT+20UK Hazırlanmış Numunelerin 28 Günlük Gerilme Grafiği



G+10MT+20UK Hazırlanmış Numunelerin 28 Günlük Gerilme Grafiği

Ek-8 Serbest Basınç Deneyi Sonuçları ve Gerilme Grafikleri (Devam)



G+15MT+30UK Hazırlanmış Numunelerin 28 Günlük Gerilme Grafiği

Ek-9 Bakanlık Sertifikalı Laboratuvar Tarafından Alınan Karot Numunenin Basınç Deney Raporu.

Rapor 31.05.2019 tarihinde 6 Eylül beton test laboratuvarı tarafından düzenlenmiştir.



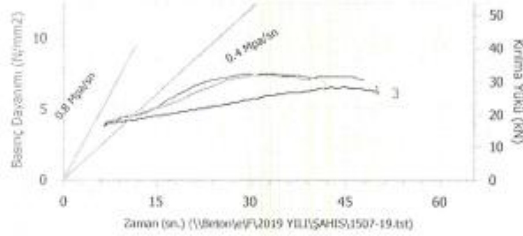
T.C. ÇEVRE VE
ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI

KAROT BASINÇ DENEY RAPORU

RAPOR BİLGİLERİ				Sayfa : 1 / 2
LABORATUVAR NO	1507-19	BKN.RAPOR NO	16450723	
RAPOR NO	1507-19	RAPOR TARİHİ	31.05.2019	



FİRMA VE ŞANTİYE BİLGİLERİ						
YAPI DENETİM FİRMASI	UMUT DOĞUŞ KAÇMAZ					
MÜTEAHHİT FİRMA						
YAPI SAHİBİ	UMUT DOĞUŞ KAÇMAZ					
ŞANTİYE ADRESİ	O.S.B / BALIKESİR					
PAFTA / ADA / PARSEL	W/EE/WW					
İLGİLİ İDARE	OSB - BALIKESİR			YİBF NO		
NUMUNE BİLGİLERİ						
NUMUNE ALINIŞ TARİHİ	30.05.2019			NUMUNEYİ ALAN	NEVZAT OLER-İNŞ.TEKNİKERİ	
ÇAPI (mm)/KESİT/HACİM	80	43.00CM ²	318.26CM ³	BETON SINIFI	C 14	
DENEY SONUÇLARI						
No	NUMUNE ALINAN YAPI ELEMANI			Kırılma Yüklü (N)	Basınç Mukavemeti fis (N/mm ²)	Ortalama Basınç Mukavemeti (N/mm ²)
	Blok-Kat		Aks			
1	SAHA BETONU	K-1		32160	7,48	7,13
2	SAHA BETONU	K-2		31840	7,40	7,13
3	SAHA BETONU	K-3		28000	6,51	7,13



DENEYİ YAPAN
NEVZAT OLER-İNŞ.TEKNIKERİ

ONAYLAYAN
REMZİ DUMAN
LAB.DEN.MÜH.
BELGE NO: 27482



- 1-Deney ve hesaplamalar TS EN 12390-3, TS EN 12390-7 ve TS EN 12504-1 TS EN 13791'e göre yapılmıştır.
2-Namuneler [h/d] eşitliği esas alınarak deneye alınmıştır.Dayanımlar 15'lik küp dayanımdır.3-Namuneler % 70 kükürt + %30 grafit başlık yapılarak deneye alınmıştır.
4-Namunelerde Donatı yoktur.Sonuçlar TS EN 13791 Madde 7.3'e göre değerlendirilmiştir.5-Bu rapor lab.izni olmadan değiştirilemez ve çoğaltılamaz.
6-Karot numuneleri lab.Tarafından alınmıştır.

6.EYLÜL, BETON,YAPI MALZEMELERİ,ZEMİN LABORATUVAR TEST HİZMETLERİ TİC. LTD. ŞTİ.

Atatürk Mah. Eren Sokak No:2 - BALIKESİR Tel: 0.266 227 11 88

Ek-10 Laboratuvar Çalışmaları Fotoğrafları

Laboratuvar çalışmaları sırasında kullanılan elekler ve etüv makinesi resim (a) ve (b) de gösterilmektedir.



(a)



(b)

Ek-10 (Devam) Laboratuvar Çalışmaları Fotoğrafları

Elek analizi safhalarından eleme işlemleri resim (c), (d) de gösterilmektedir.



(c)



(d)

Ek-10 (Devam) Laboratuvar Çalışmaları Fotoğrafları

Elenen malzemelerin tartılma işlemi resim (e), ve (f) de gösterilmiştir.



(e)



(f)

Ek-10 (Devam) Laboratuvar Çalışmaları Fotoğrafları

Eleme tartılma işleminden sonra ayrıışan malzemeler resim (g), ve (h) de gösterilmiştir.



(g)



(h)

Ek-10 (Devam) Laboratuvar Çalışmaları Fotoğrafları

Standart kompaksiyon deneyi için belirli oranlarda hazırlanan numunelerin dumune kaplarına alınması resim (1), ve (i) de gösterilmiştir.



(1)



(i)

Ek-10 (Devam) Laboratuvar Çalışmaları Fotoğrafları

Hazırlanan numunelerin etüvden alındıktan sonra tartma işlemine hazırlanması resim (j) tartılması sonucu değerlerin kaydedilmesi resim (k) da gösterilmiştir.



(j)



(k)

Ek-11 Saha Çalışması Fotoğrafları

Yapılan laboratuvar deneylerinde sonra arazi çalışmaları için kazı işlemlerine başlanması resim (l) ve (m) de gösterilmiştir.



(l)



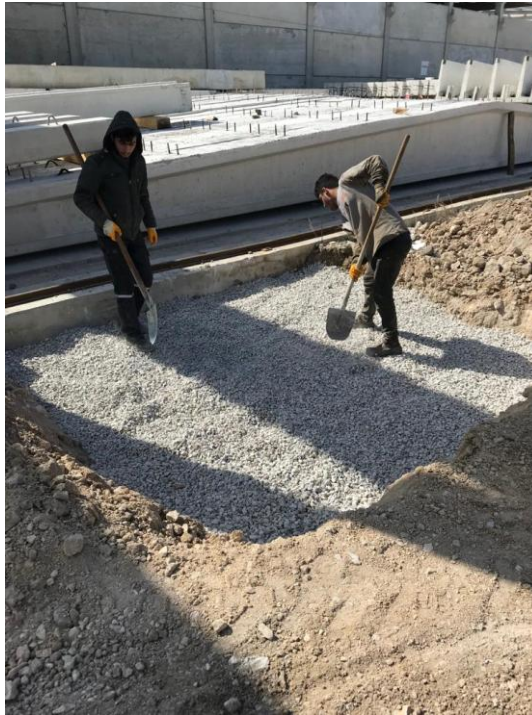
(m)

Ek-11 (Devam) Saha Çalışması Fotoğrafları

Arazide yapılan kazı işlemleri resim (n) de gösterilirken, resim (o) da ise hazırlanan arazi karışımı serimi öncesi 5mm-12mm arası çakıl araziye serilmiştir.



(n)



(o)

Ek-11 (Devam) Saha Çalışması Fotoğrafları

Malzemelerin karışım öncesi bunkerlere doldurulması işlemi gerçekleştirilmiştir, resim (ö) ve resim (p) de mermer tozunun bunkerlere boşaltılması görülmektedir.



(ö)



(p)

Ek-11 (Devam) Saha Çalışması Fotoğrafları

Malzemelerin karışım öncesi bunkerlere doldurulması işlemi gerçekleştirilmiştir, resim (r) ve resim (s) de uçucu külün bunkerlere boşaltılması görülmektedir.



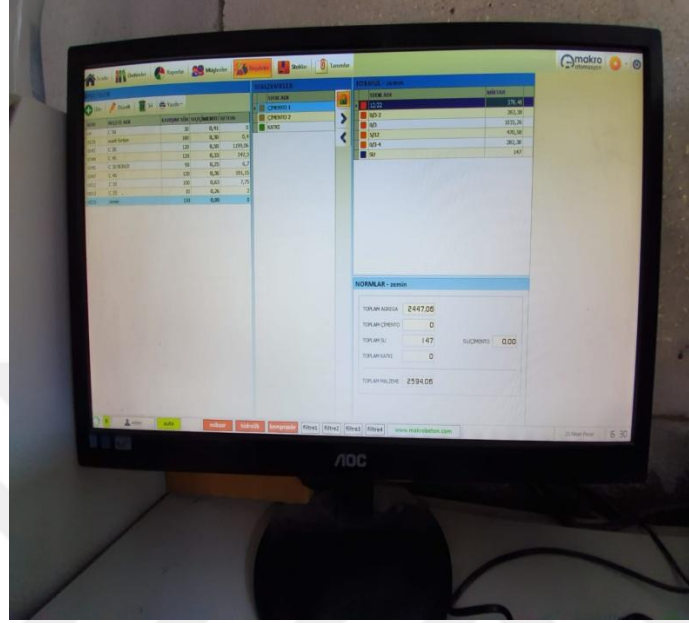
(r)



(s)

Ek-11 (Devam) Saha Çalışması Fotoğrafları

Malzemelerin karışım bunkerlere alınmasında sonra bilgisayara tasarımın girilmesi resim (ş) de görülürken resim (t) de malzemelerin karıştırılma anı görülmektedir.



(ş)



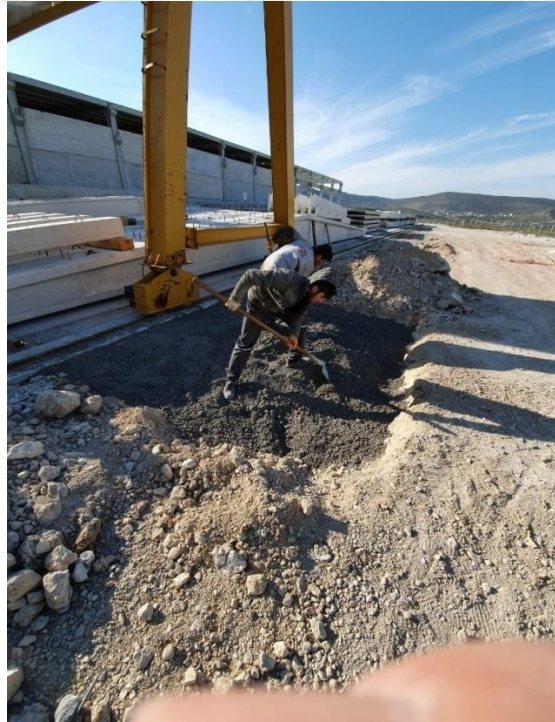
(t)

Ek-11 (Devam) Saha Çalışması Fotoğrafları

Malzemelerin hazırlanan araziye serilmesi resim (u) ve (ü) de görülmektedir.



(u)



(ü)

Ek-11 (Devam) Saha Çalışması Fotoğrafları

Malzemelerin araziye serilmiş hali resim (v) de görülmektedir.



(v)

Ek-11 (Devam) Saha Çalışması Fotoğrafları

Hazırlanan arazide kür işleminin yapılma safhaları resim (y) ve (z) de görülmektedir.



(y)



(z)

Ek-11 (Devam) Saha Çalışması Fotoğrafları

7günde karot alma işlemi sonucunda numuneler dağılmıştır. Resim (a1) de karot deliği resim (a2) de ise dağılan malzemeler görülmektedir.



(a1)



(a2)

Ek-11 (Devam) Saha Çalışması Fotoğrafları

7,14,28 günlerde yapılan schmidt çekici okumalarında bazıları resim (a3) de gösterilmiştir.



(a3)

Ek-11 (Devam) Saha Çalışması Fotoğrafları

7,14,28 günlerde yapılan schmidt çekici okumalarında bazıları resim (a4) de gösterilmiştir.



(a4)

Ek-11 (Devam) Saha Çalışması Fotoğrafları

7,14,28 günlerde yapılan schmidt çekici okumalarında bazıları resim (a5) de gösterilmiştir.



(a5)

Ek-11 (Devam) Saha Çalışması Fotoğrafları

28. gün gerçekleştirilebilen karot alma işlemi resim (a6) ve (a7) de gösterilmiştir.



(a6)



(a7)