



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETON
AGREGASININ YOL ÜST YAPISINDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL
OLARAK ARAŞTIRILMASI

Ekrem Burak TOKA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ekrem Burak TOKA tarafından hazırlanan “GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETON AGREGASININ YOL ÜST YAPISINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması 08/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Özcan TAN

Danışman

Doç. Dr. Murat OLGUN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi İsa KUL

İmza

.....
.....
.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 217M969 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Ekrem Burak TOKA

Tarih: 08/05/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETON AGREGASININ YOL ÜST YAPISINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Ekrem Burak TOKA

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Murat OLGUN

2019, 244 Sayfa

**Jüri
Doç. Dr. Murat OLGUN
Prof. Dr. Özcan TAN
Dr. Öğr. Üyesi İsa KUL**

Gelişmiş ülkelerde doğal kaynakların bilinçli bir şekilde kullanılabilmesi ve sürdürülebilirliğe katkı sağlamak amacıyla, inşaat yapım ve yıkım atıklarından olan geri dönüştürülmüş beton agregasının (GDBA), granüler yol temel (GYT) ve granüler yol alttemel (GYAT) tabakasında kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Ülkemizde mevcut durumda GDBA'lar, GYT ve GYAT'de kullanılmamaktadır. Bunun en önemli nedeni Karayolu Teknik Şartnamesi'nde (2013) (KTŞ) GDBA'ların yol üst yapısında kullanımı ile ilgili düzenleyici kural ve şartların bulunmamasıdır.

Ülkemizde devam eden ve bundan sonra uzun yıllar boyunca devam edecek olan kentsel dönüşüm uygulamalarında ortaya çıkacak GDBA'nın sürdürülebilirliğe katkı sağlaması açısından kullanılması büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla, bu tez çalışmasında GDBA'ların kırmataş agregası (KA) ve doğal agregası (DA) ile birlikte GYT ve GYAT'de kullanılabilirliği incelenmiştir. GDBA'lar beton dayanımları farklı 3 farklı binanın yıkıntısından elde edilmiştir. 3 farklı GDBA, KA, DA'ların saf halleri ile GDBA'ların DA ve KA ile %25 - %50 - %75 oranlarındaki karışımları üzerinde bir dizi laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Karışım ve saf malzemelerden oluşan 23 farklı tasarım için yapılan laboratuvar deneylerinin sonucunda KTŞ'deki (2013) GYT ve GYAT malzemelerinin sağlaması gereken şartlara uygun tasarımlar belirlenmiştir. Buna göre dayanım ve hidrolik özellikler bakımından GYT ve GYAT'de kullanılmak için yeterli özelliklere sahip olan saf haldeki GDBA'ların, dayanıklılık özellikleri bakımından yetersiz olabileceği belirlenmiştir. Fakat karışım tasarımlarında bu olumsuz özelliklerin çok büyük bir kısmının ortadan kalktığı gözlemlenmiştir.

Laboratuvar deneylerinin ardından görüntü analizleri yapılmıştır. Bunun için malzemelerin saf halleri için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve fraktal boyut analizi yapılmıştır. GDBA'larda ikincil çimentolanmanın etkisini araştırmak için, 1 - 7 - 28 gün kür edilmiş numunelerde SEM analizi yapılmış; fakat ikincil çimentolanma gözlenememiştir. Fraktal boyut analizi kullanılarak, malzemelerin pürüzlülüğü ve köşeliliği araştırılmıştır. Yüksek fraktal boyut değerinin dayanım özelliklerini olumlu yönde etkilediği ve GDBA'ların fraktal boyutlarının yüksek olduğu bulunmuştur.

GYT ve GYAT'de kullanılmaya en elverişli olduğu belirlenen GDBA'nın saf halinin, aynı GDBA'nın KA ile %50 oranda karıştırılmış halinin ve saf KA'nın kullanılması durumları için esnek üstyapı tasarımları yapılmıştır. Bu tasarımlarda GYT'de, seçilen malzemelerin kullanılması durumunda üst yapı kalınlıkları belirlenmiştir. Kalınlık hesabı sonrası, bu kalınlıklara göre oluşturulacak 1 km uzunluğunda bir esnek üstyapı için maliyet analizleri yapılmıştır. Bu durumda saf KA kullanılması halinde GYT kalınlığının daha az olmasına rağmen, KA'nın taşıma ve taş ocağında hazırlanma bedelinin yüksek olması nedeniyle GDBA'lı yol tasarımının daha ekonomik olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, bazı olumsuz dayanıklılık özelliklerine karşın yeterli dayanıma sahip olması, ekonomik olması ve geleneksel agrega ile karıştırıldığında dayanıklılık anlamındaki olumsuzluklarının büyük ölçüde giderilebilmesi nedeniyle GDBA'ların esnek üstyapının GYT'sinde kullanılmasının mümkün olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle ülkemizde bu malzemelerin kullanılması acil olarak teşvik edilmelidir. Böylelikle kentsel dönüşüm uygulamalarında atık olarak ortaya çıkan GDBA'nın yol üst yapısı inşaat faaliyetlerinin ekonomik sürdürülebilirliğini sağlamada çok önemli bir katkısı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Geri dönüştürülmüş beton agregası, Granüler yol temeli, Granüler yol alttemeli, Görüntü analizi, Maliyet analizi



ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE USABILITY OF RECYCLED CONCRETE AGGREGATE IN ROAD SUPERSTRUCTURE

Ekrem Burak TOKA

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Murat OLGUN

2019, 244 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Murat OLGUN

Prof. Dr. Özcan TAN

Asst. Prof. Dr. İsa KUL

In developed countries, the use of recycled concrete aggregate (RCA) from construction and demolition wastes in granular road base (GRB) and granular road sub-base layer (GRSB) has become widespread in order to consciously use natural resources and contribute to sustainability. In our country, RCAs do not find use in GRB and GRSB. The most important reason for this is that there are no regulatory rules and conditions regarding the use of RCAs in road superstructures in the Highway Technical Specification (2013) (HTS).

It is of great importance that the use of RCA which will emerge from the ongoing urban transformation practices that will continue for many years to come, will contribute to sustainability. For this purpose, in this thesis, the usability of RCAs in GRB and GRSB was investigated together with crushed aggregate (CA) and natural aggregate (NA). The RCAs were obtained from the debris of 3 buildings with different concrete strengths. A series of laboratory tests have been conducted on pure forms of the RCAs, CA, NA and mixtures of the RCAs with NA and CA at 25% - 50% - 75% ratios respectively. As a result of the laboratory tests for 23 different designs consisting of mixtures and pure materials, suitable designs were determined according to the requirements in HTS (2013) of GRB and GRSB materials. According to this, RCAs, which are found to be sufficient to be used in GRB and GRSB in terms of strength and hydraulic properties, were found to be insufficient at some points in terms of their durability characteristics. However, it was observed that a large part of these negative properties disappeared in the mixture designs.

After laboratory tests, image analyzes were performed. For this purpose, Scanning electron microscopy (SEM) and fractal dimension analyzes were performed for pure form of the materials. SEM analysis was carried out for 1 - 7 - 28 days cured samples in order to investigate the effect of secondary cementation in RCAs. But secondary cementation was not observed. By using fractal dimension analysis, roughness and angularity of the materials were investigated. It was found that the high fractal dimension value had a positive effect on the strength characteristics and the fractal dimensions of RCAs were high.

Flexible pavement designs were made for the pure state of RCA which was determined to be the most suitable for use in GRB and GRSB, 50% of the same RCA mixed with CA. and the use of pure CA. In these designs, superstructure thicknesses were determined in GRB in case of using selected materials. After the thickness determination, the cost analysis was performed for a 1 km long flexible pavement to be constructed according to these thicknesses. In this case, although the GRB thickness is less if pure CA is used, it was determined that pavement design with RCA is more economical because of the high transportation cost of CA and the high cost of preparation CA in quarry.

As a result, it was determined that RCAs can be used in the GRB of flexible superstructure, because they have sufficient strength in spite of some negative durability properties, they are economical and their

negativity in terms of durability can be greatly reduced when mixed with traditional aggregate. Therefore, the use of these materials in our country should be urgently encouraged. Thus, RCA, which emerged as waste in urban transformation applications, will have a very important contribution in ensuring the economic sustainability of road superstructure construction activities.

Keywords: Recycled concrete aggregate, Granular road base, Granular road sub-base, Image analysis, Cost analysis



ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca bana her konuda yardımcı olan danışmanım Sayın Doç. Dr. Murat OLGUN'a saygılarımı sunar, teşekkür ederim. Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilimdalı'ndaki tüm öğretim elemanlarına, bana güzel bir çalışma ortamı sundukları için teşekkür ederim.

Çalışmalarımda her türlü sıkıntımı çözmeme yardım eden canım babam Zeki Semih TOKA'ya, kardeşim ve hayatımdaki en iyi arkadaşım Ethem Tekin TOKA'ya, ailemizin baş tacı canım annem Sevgi TOKA'ya sevgilerimi sunar, çok teşekkür ederim.

Ekrem Burak TOKA
KONYA-2019



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Önemi ve Kapsamı	2
1.2. Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Genel Özellikleri	4
1.3. Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Üretimi ve Kullanımı	6
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM	21
3.1. Malzeme Temini ve Malzemelerin Deneylere Hazır Hale Getirilmesi	21
3.2. Agregada Deneyleri	27
3.2.1. Yassılık endeksi deneyi	27
3.2.2. Kıvam limitleri deneyleri	29
3.2.3. Tane yoğunluğu ve su emme deneyleri	31
3.2.4. Los Angeles (LA) aşınma deneyi	34
3.2.5. Magnezyum sülfat dayanıklılığı deneyi	36
3.2.6. Alkali silika reaksiyonu (ASR) deneyi	38
3.3. Performans Deneyleri	40
3.3.1. Modifiye Proctor deneyi ile kompaksiyon parametrelerinin belirlenmesi ...	40
3.3.2. CBR deneyleri.....	42
3.3.3. Geçirimsizlik deneyleri	44
3.3.4. Esneklik modülü ve kalıcı deformasyon deneyleri.....	48
3.4. Görüntü Analizi	58
3.4.1. Fraktal boyut ile görüntü analizi	58
3.4.2. SEM görüntü analizi	60
3.5. Kalınlık Hesabı	61
3.6. Maliyet Analizi	66
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	71
4.1. Agregada Deneylerinin Sonuçları	71
4.1.1. Yassılık endeksi deney sonuçları	71
4.1.2. Kıvam limitleri deney sonuçları	72
4.1.3. Tane yoğunluğu ve su emme deney sonuçları	75
4.1.4. Los Angeles (LA) aşınma deney sonuçları	77
4.1.5. Magnezyum sülfat dayanıklılığı deney sonuçları	78
4.1.6. Alkali silika reaksiyonu (ASR) deney sonuçları.....	79

4.2. Performans Deneylerinin Sonuçları.....	80
4.2.1. Modifiye Proctor deney sonuçları.....	81
4.2.2. CBR deneylerinin sonuçları.....	85
4.2.3. Geçirimsizlik deneylerinin sonuçları	89
4.2.4. Esneklik modülü ve kalıcı deformasyon deney sonuçları	91
4.3. Görüntü Analizlerinin Sonuçları.....	103
4.3.1. Fraktal boyut analizi sonuçları.....	103
4.3.2. SEM analizi sonuçları	107
4.4. Malzeme Özellikleri Arasındaki İlişkiler	111
4.4.1. Fiziksel, mekanik ve geçirimsizlik özellikleri arasındaki ilişkiler.....	111
4.4.2. Esneklik modülleri ile fiziksel, mekanik ve geçirimsizlik özellikleri arasındaki ilişkiler	115
4.4.3. Dayanım özellikleri ile görüntü analizi sonuçları arasındaki ilişkiler	117
4.5. Kalınlık Hesaplarının Sonuçları.....	118
4.6. Maliyet Analizi Sonuçları	122
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	126
5.1 Sonuçlar	126
5.2 Öneriler	132
KAYNAKLAR	133
EKLER	140
ÖZGEÇMİŞ	243

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	: Tabaka katsayısı
D	: Tabaka kalınlığı
D_r	: Fraktal boyut
F	: Taşıma birim fiyatı
FI	: Yassılık endeksi
G	: Karot numune basınç dayanımı yüksek GDBA
g	: Yerçekim ivmesi
$\Upsilon_{D_{maxT}}$: Düzenlenmiş maksimum kuru birim hacim ağırlık
Υ_k	: Kuru birim hacim ağırlık
$\Upsilon_{k_{maks}}$: Maksimum kuru birim hacim ağırlık
Υ_n	: Doğal birim hacim ağırlık
i	: Trafik yönü
I_p	: Plastisite indisi
k	: Geçirimsizlik katsayısı
k_1, k_2, k_3	: Esneklik modülü modelleri regresyon katsayıları
m_i	: Drenaj katsayısı
M_r	: Esneklik modülü
MS	: Magnezyum sülfat dayanıklılığı deneyi malzeme kaybı
NaOH	: Sodyum hidroksit
O	: Karot numune basınç dayanımı G ile Z arasında olan GDBA
p_i	: İlk servis kabiliyeti
p_t	: Son servis kabiliyeti
Q	: Geçen su miktarı
R	: Güvenilirlik
r	: Trafik artış katsayısı
R^2	: Determinasyon katsayısı
R^2_{adj}	: Düzeltilmiş determinasyon katsayısı
R^2_{pred}	: Tahmin edilen determinasyon katsayısı
S_0	: Toplam standart sapma
SN	: Üst yapı sayısı
t	: Proje süresi
t_0	: Yıllık ortalama günlük trafik
$T_{8.2}$: Toplam standart dingil yükü (8.2 ton) tekerrür sayısı
t_p	: Her taşıt türü için proje trafiği
T_p	: Proje süresi boyunca yoldan geçecek toplam trafik
t_t	: Her taşıt için proje süresince yoldan geçecek trafik
w	: Su muhtevası

W_{A24}	: 24 saat daldırma sonunda su emme değeri
w_{ct}	: Düzenlenmiş su muhtevası
w_l	: Likit limit
w_{opt}	: Optimum su muhtevası
w_p	: Plastik limit
Z	: Karot numune basınç dayanımı düşük olan GDBA
Z_R	: Standart normal sapma
α ve b	: Kalıcı deformasyon modeli regresyon katsayıları
ΔD_2	: Ek GYT kalınlığı
ΔPSI	: Servis kabiliyetindeki azalma miktarı ($p_i - p_t$)
ΔSN	: Toplam başlangıç ve toplam gerekli SN değeri arasındaki fark
ϵ_p	: Eklenik kalıcı deformasyon
ϵ_r	: Elastik deformasyon
η	: Şerit dağıtma faktörü
θ	: Toplam gerilme
ρ_s	: Tane yoğunluğu
σ_1	: Büyük asal gerilme (düşeyde)
σ_3	: Küçük asal gerilme (hücre basıncı)
σ_{atm}	: Atmosfer basıncı
σ_d	: Deviator gerilme
τ_{oct}	: Oktahedral gerilme

Kısaltmalar

AASHTO	: Amerika Eyalet Yolları ve Ulaşım Çalışanları Kurumu
ACPA	: Amerika Beton Yol Birliği
ASR	: Alkali silika reaksiyonu
ASTM	: Amerika Test ve Malzeme Kurumu
CBR	: Kaliforniya taşıma oranı
CSA	: Kanada Standartları Birliği
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DA	: Doğal agregası
GDBA	: Geri dönüştürülmüş beton agregası
GYAT	: Granüler yol alttemeli
GYT	: Granüler yol temeli
KA	: Kırmataş agregası
KEÜPR	: Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KTŞ	: Karayolu Teknik Şartnamesi
LA	: Los Angeles
LVDT	: Doğrusal değişken diferansiyel transdüser
MEPDG	: Mekanistik-Ampirik Kaplama Tasarım Yöntemi
MS	: Magnezyum sülfat dayanıklılığı
NCHRP	: Ulusal Kooperatif Karayolu Araştırma Programı
NP	: Plastik olmayan
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskop
TEF	: Taşıt eşdeğerlik faktörü
TYÜEBD	: Tekrarlı yüklemeli üç eksenli basınç deneyi
USCS	: Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
XRD	: X-ışını difraktometresi

1. GİRİŞ

Dünyada doğal kaynaklar tükenirken, artan dünya nüfusuna karşı inşaat ve sanayi gibi sektörlerin hammadde ve kaynak ihtiyaçları artmaktadır. Bu ihtiyaçların karşılanabilmesi için yakın gelecekte doğal kaynaklar yeterli olmayacaktır. Bu nedenle doğal kaynakların ekonomik ve bilinçli şekilde kullanılması gerekmektedir. Güneş, rüzgar vb. yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, özellikle enerji sektöründe hem ekonomik olmakta hem de çevre kirliliğini azaltmaktadır. İnşaat sektörü için doğal kaynakların tüketilmesinin yanında, mevcut ve yapılmakta olan yapıların yapım ve yıkımları sonucunda ortaya çıkan atıkların depolanması da ayrı bir sorun teşkil etmektedir. Bu sorunlar; depo edilecek yerde çevreye zarar, depo yeri maliyeti, bu depo yerlerinin işletilme maliyeti, görüntü kirliliği şeklinde sıralanabilir. İnşaat sektöründe ortaya çıkan atıkların yeniden kullanımı, atıkların olumsuz etkilerini giderebilmektedir.

İNŞAAT SEKTÖRÜNDE KULLANILAN DOĞAL KAYNAKLARIN BAŞINDA DOĞAL KAYAÇLARDAN KIRMA İŞLEMİYLE VEYA DOĞRUDAN TEMİN EDİLEN AGREGALAR GELMEKTEDİR. Agregalar beton yapımından yol dolgularına kadar inşaat mühendisliğinin pek çok alanında kullanılmaktadır. Agregaların kullanım alanlarının geniş olması, bu kaynağa çok büyük miktarlarda ihtiyaç duyulmasına sebep olmuştur. İnşaat sektöründe geniş kullanım alanı bulan bu doğal kaynak zaman içerisinde tükenecektir. Bu nedenle gelecekteki projeler ve inşaatlarda kullanılmak üzere agrega temin etmek için doğal kaynakların tüketilmesinin yerine mevcut atıkların değerlendirilmesi önemli olacaktır.

İNŞAAT ATIKLARI GENEL OLARAK YAPIM VE YIKIM ATIKLARI OLARAK ADLANDIRILMADIRLAR. Bu atıkların başında; asfalt, beton, tuğla, fayans, cam, plastik, ahşap vb. gelmektedir. Bu tez çalışması kapsamında inşaatlarda en fazla ortaya çıkan inşaat atığı olan geri dönüştürülmüş beton agregasının (GDBA) tekrar kullanılabilirliği ve özellikleri araştırılacaktır. İnşaatların yapım ve yıkımları sonucu ortaya çıkan bu atıklar moloz depolarına götürülmekte ve depolarda yığınlar oluşturularak bekletilmektedir. Depolarda kullanılmadan bekletilen bu atıkların tekrar kullanılması büyük önem arz etmektedir.

İNŞAAT SEKTÖRÜNDE MÜHENDİSLİK AÇISINDAN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİN SAĞLANABİLMESİ, mevcut kaynakların bilinçsizce tüketilmesinin önlenmesi, atıkların depolanma sorunlarının giderilmesi, ekonomik tasarrufun sağlanabilmesi amaçlarıyla yapım ve yıkım atıklarından olan GDBA'ların agrega olarak kullanılması tüm dünyada gittikçe artan bir ilgi görmektedir. Bu nedenle birçok çalışma yapılmış ve GDBA'ların inşaat mühendisliğinde agrega olarak kullanımının mümkün olup olmadığı ve hangi alanlarda

kullanılabileceği belirlenmek istenmiştir. Bu çalışmalardaki temel amaç; kırmataş agrega (KA) ve doğal agrega (DA) ile GDBA'ların karşılaştırılması, GDBA'ların ilgili yönetmeliklerde belirtilmiş özelliklere uygunluğunun araştırılması şeklinde olmuştur.

İnşaat sektöründe GDBA'lar yeniden beton yapımında, yol dolgularında, farklı geoteknik ve ulaştırma alanlarında agrega olarak kullanılmaktadır. Yol dolgularında ise, yol üst yapı katmanları olan granüler yol temel (GYT) ve granüler yol alttemel (GYAT) tabakalarında kullanımları araştırılmalıdır. GDBA'ların GYT ve GYAT'de kullanımı inşaat mühendisliğinin hem geoteknik hem de ulaştırma anabilim dallarının ilgi alanına girmektedir. Çünkü bu tabakalar, yolun trafik yükünü alıp taban zeminine aktardıklarından yol - zemin etkileşimi bu mekanizmada ön plana çıkmaktadır. GDBA'ların GYT ve GYAT'de kullanımı, yerinde kazılıp sökülen beton kaplamalı yolun yerinde tekrar granüler yol tabakalarında kullanılması veya konut, hastane vb. çeşitli yapıların yıkıntısından elde edilen beton atığının geri dönüşüm tesislerine götürülmesi, kırılması, KA gibi istiflenmesi ve ihtiyaca bağlı olarak istenen yere taşınıp kullanılması şeklinde olabilmektedir. Bu şekilde tekrar inşaat sektöründe agrega olarak kullanılan GDBA'lar artık atık malzeme olmaktan çıkmakta ve sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Bu tez çalışması kapsamında ise Konya ili sınırları içerisinde kentsel dönüşüm uygulamalarından elde edilen GDBA'ların tekrar GYT ve GYAT'de kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır.

1.1. Tezin Önemi ve Kapsamı

Dünya çapında gelişmiş ülkelerin birçoğunda geri dönüştürülmüş malzemelerin yeniden kullanımına dikkat edilmekte ve bunun için özel sektör teşvik edilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca bu ülkelerde geri dönüşümle ilgili birçok bilimsel çalışma yapılmaktadır. GDBA da atık malzemelerden elde edilen bir geri dönüşüm malzemesidir. Gelişmiş ülkelerde GYT ve GYAT'de GDBA kullanımı teşvik edilmeye çalışılmasına rağmen ülkemizde bu konuyla ilgili hem bilimsel alanda hem de uygulama alanında çalışmalar yok denecek kadar azdır. Bu noktada ülkemizde devam eden kentsel dönüşüm uygulamaları büyük bir fırsat teşkil etmektedir. Fakat bu uygulamalar bir fırsat olabileceği gibi eğer uygulamalardan ortaya çıkan atıklar değerlendirilmezse büyük depolama sorunlarıyla karşılaşılacaktır. Kentsel dönüşüm uygulamaları sonucu oluşan atık malzemeler sanayide, endüstride ve tekrar inşaat sektöründe kullanılmalıdır. 2014 kentsel dönüşüm verilerine göre önümüzdeki 20 yıl içinde ülke çapında yaklaşık 6.7

milyon konut biriminin yıkılıp yeniden inşa edileceği tahmin edilmektedir ve bu yılda yaklaşık 334000 konuta karşılık gelmektedir. Yalnızca yıkım ve yeniden inşa maliyeti için her yıl yaklaşık 44 milyar TL gerekli olacaktır. Sadece İstanbul'da 2011 yılında 227 milyon ton yapım ve yıkım atığı üretilmiştir (Cushman ve Wakefield, 2014). Açığa çıkan bu atıkların tekrar kullanılması, zaten bu atıklar kentsel dönüşüm uygulamaları esnasında bu sürecin doğal bir sonucu olarak ortaya çıktığı için, ek bir çaba sarf etmeden sürdürülebilirliğe büyük katkı sağlayacaktır. Bu nedenle; GDBA'nın GYT ve GYAT'de kullanımına dikkat çekebilmek ve yaygınlaştırabilmek için, GDBA'nın kullanımına Karayolu Teknik Şartnamesi (2013) (KTŞ) içerisinde yer verilmesi, yani şartnamelerde yerinin olması gerekmektedir. Bunun ilk adımı olarak ise, ülkemiz yapım ve yıkım atıklarından elde edilen GDBA'ların KTŞ'de (2013) GYT ve GYAT malzemesinin sağlaması gereken şartlara uygun olup olmadığının laboratuvar ortamında deneysel olarak belirlenmesi gerekmektedir. Tezin amacı; gerekli laboratuvar deneylerinin yapılarak Konya ili Meram bölgesinden elde edilen GDBA'ların GYT ve GYAT'de kullanılabilirliğinin KTŞ'ye (2013) uygunluk bakımından laboratuvar ortamında deneylerle araştırılması, görüntü analizleriyle malzeme özellikleri arasında ilişkinin incelenmesi, GYT ve GYAT'de kullanılmaya en uygun malzemelerle esnek üstyapı tasarımı yapılıp, maliyetlerin belirlenmesidir.

Tez çalışması kapsamında KTŞ (2013) dikkate alınıp, laboratuvar ortamında 3 farklı yapıdan elde edilmiş GDBA'nın KA ve DA ile karşılaştırmalı olarak, GYT ve GYAT'de kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bunun için yapılan laboratuvar deneyleri ve analizler 3 ayrı bölüme ayrılmıştır:

1. Agrega deneyleri;

- Elek analizi,
- Yassılık endeksi,
- Magnezyum sülfat dayanıklılığı,
- Los Angeles aşınma (LA aşınma),
- Alkali silika reaksiyonu (ASR),
- Kıvam limitleri,
- Tane yoğunluğu ve su emme deneyleridir.

2. Performans deneyleri;

- Modifiye Proctor,
- Yaş ve kuru California Taşıma Oranı (CBR),
- Geçirimsizlik

- Esneklik modülü ve kalıcı deformasyon deneyleridir (Tekrarlı yüklemeli üç eksenli basınç deneyi (TYÜEBD) ile).

3. Laboratuvar deneyleri gerçekleştirildikten sonra görüntü analizleri (taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve fraktal boyut analizi) yapılmıştır. Ardından KTŞ (2013) şartlarına uygun olarak; birincisi saf GDBA, ikincisi GDBA - KA karışımı diğeri ise KA kullanılarak GYT'leri teşkil edilen 3 farklı esnek üstyapı için kalınlık hesabı ile maliyet analizleri yapılmıştır. Maliyet analizleri esnek üstyapının kalınlıkları hesaplandıktan sonra 1 km uzunluğundaki toplam 4 şeritli bir yol için yapılmıştır.

Malzeme temini, tez çalışmasında kullanılan GDBA'nın elde edilmesi, deneyler ve analizlerle ilgili bilgiler "Materyal ve Yöntem" bölümünde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. "Araştırma Sonuçları ve Tartışma" bölümünde tüm sonuçlar yorumlanarak değerlendirilmiş, "Sonuçlar ve Öneriler" bölümünde GDBA'nın Türkiye'de GYT ve GYAT'de hangi şartlarda ve nasıl kullanılabilceğine dair öneride bulunulmuş ve ileride konuyla ilgili hangi çalışmaların yapılabilceği belirtilmiştir.

1.2. Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Genel Özellikleri

BS EN 8500-2 (2006), GDBA'yı minimum %95 oranda kırılmış beton olarak tanımlanmaktadır. Bu geri dönüştürülmüş agregalar, taze betonun çimento harcının yıkanması ve depoya geri dönmesi sonucu elde edilen geri kazanılmış beton agregası ile aynı değildir (Limbachiya, 2010).

GDBA esas olarak elde edildiği ana betonun özelliklerini taşır. Buna göre GDBA'lar; GDBA'nın elde edildiği betonların dayanımlarına, çevresel etki şartlarına ve kullanım amaçlarına göre düşük veya yüksek kaliteli olabilirler. Burada GDBA'nın kalitesinin ölçütü, GDBA hangi alanda kullanılacaksa o alanla ilgili şartname ve standartlara uygun olup-olmamasıdır. Bu nedenle, GYT ve GYAT'de kullanılacak GDBA'ların özelliklerini ve kalitesini etkileyen en önemli etkenlerden biri, GDBA'ların içerdiği yapışık çimento harcıdır (Kuo ve ark., 2002) (Şekil 1.1). Bu yapışık çimento harcı; fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler açısından GDBA'lar için çoğunlukla olumsuz bir duruma neden olmakla birlikte bazen de olumlu etkileri olabilmektedir. GDBA'lar yapışık çimento harcı nedeniyle, yolun proje ömrünün ileriki yıllarında ikincil çimentolanma meydana getirebilmektedirler (Jitsangiam ve ark., 2015). Bu çimentolanma, GDBA matrisinde hala aktif olarak kalmış ve suyla etkileşime geçtiğinde tekrar hidrasyon reaksiyonları gerçekleştirebilen çimento tanelerinden

kaynaklanmaktadır. Bu nedenle donma - çözülme gibi olumsuz olabilecek reaksiyonlar, GDBA'ların dayanım özellikleri üzerinde olumlu etkiler oluşturabilmektedir. Genel olarak GDBA'ların dayanım özelliklerinin göstergesi olan CBR ve esneklik modülü değerleri KA ve DA'ya yakın değerler almaktadır. Fakat yapışık çimento harcı GDBA'ların sülfata dayanıklılığı, LA aşınma kaybı, sülfür içeriği, su emme gibi kimyasal ve fiziksel özelliklerinde yani dayanıklılık özellikleri üzerinde, olumsuz etki oluşturmaktadır (Saeed ve Hammons, 2008). Çizelge 1.1'de GDBA'ların bazı özelliklerinin tipik değerleri verilmiştir.



Şekil 1.1. GDBA tanesi

Çizelge 1.1. GDBA'ların bazı özelliklerinin tipik değerleri (Cooley ve Hornsby, 2012)

Özellik	Değer
İri tanelerin özgül ağırlığı	2.2 - 2.5
İnce tanelerin özgül ağırlığı	2.0 - 2.3
İri tanelerin su emmesi (%)	2 - 6
İnce tanelerin su emmesi (%)	4 - 8
LA aşınma kaybı (%)	20 - 45
Magnezyum sülfat kaybı (%)	< 9
CBR (%)	94 - 148

1.3. Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Üretimi ve Kullanımı

Bir önceki bölümde GDBA'ların inşaat sektöründe kullanımının gerekliliği ve önemi açıklanmıştı. Bu bölümde, tekrar kullanımı pek çok yarar sağlayan GDBA'ların üretimi açıklanmıştır. GDBA'ların elde edilmesi sırasında kullanılan ekipmanlar KA'nın elde edilmesiyle kullanılan ekipmanlara benzerlik göstermektedir. GDBA genel olarak yıkım (bina veya beton kaplama yol), ayrıştırma ve kırma işlemleri sonucunda elde edilmektedir. KA'nın ve GDBA'nın elde edilmesi aşamalarındaki en büyük farklardan biri GDBA üretilirken beton bloklarla beraber ahşap, cam, plastik, donatı vb. istenmeyen malzemelerin de yıkıntı sahasında ortaya çıkmasıdır. Bu durumda hava bıçakları kullanılarak bunlardan hafif olan malzemeler ayrıştırılabilmektedir. Betonda bulunan mevcut donatılar ise kırma tesisine eklenebilen mıknatıslar aracılığıyla ayrıştırılabilmektedir. Bunun için genellikle çeneli bir kırıcı olabilen birincil kırıcıdan ve çeneli veya koni kırıcı olabilen ikincil kırıcıdan sonra birer tane olmak üzere toplam iki tane mıknatıs yerleştirilmektedir. İlk mıknatıs ile büyük boyutlarda çelik donatılar ayrıştırılırken, ikinci mıknatıs ile küçük boyutlarda çelik parçalar ayrıştırılır (Gonzalez ve Moo-Young, 2004). Beton yoldan GDBA üretilmesi Amerika Beton Yol Birliği (ACPA) tarafından açıklanmış olup, başka kaynaklardan elde edilecek betonların geri dönüşümü benzer şekilde gerçekleştirilmektedir. Buna göre genel olarak aşağıdaki sıraya göre GDBA üretimi gerçekleştirilmektedir (TS043.2P, 2009):

1. Yıkımı gerçekleştirilecek beton yol kaplamasının dayanım ve dayanıklılık özellikleri yıkımdan önce belirlenip, buradan elde edilecek GDBA'nın nerede kullanılabileceği tespit edilir.
2. Betonla beraber bulunan ahşap, plastik, donatı, cam vb. istenmeyen malzemeler, GDBA'nın kullanım amacına göre yıkma işleminden önce ve yıkma işlemi sırasında olabildiğince ayrıştırılır.
3. Betonun konkasöre rahatça taşınabilmesi ve konkasörde kırma işleminin kolay gerçekleştirilebilmesi için beton yol kaplaması parçalanır ve bloklara ayrılır. Bu işlem darbeli kırıcı kullanılarak gerçekleştirilir (Şekil 1.2). Parçalanmış bloklar yükleyici ile kamyonlara yüklenir (Şekil 1.3) ve kırma tesisine taşınır.



Şekil 1.2. Beton kaplamanın parçalanmasına yarayan darbeli kırıcı (TS043.2P, 2009)



Şekil 1.3. Parçalanmış beton bloklarının kamyonu yüklenmesi (TS043.2P, 2009)

4. Konkasörde betonun geri dönüşümünde kullanılan kırıcı tipleri çeneli, koni ve darbeli olmak üzere üç tiptir. Bu kırıcı tipleri kullanılarak istenilen gradasyon elde edilebilmesine rağmen GDBA elde edilirken ince tane genellikle fazla olmaktadır.
5. Betonla beraber bulunan ve konkasörde bu betonun kırımı esnasında açığa çıkan çelik donatılar kırma tesisinde konkasörün birincil ve ikincil kırıcılarından sonra eklenen mıknatıslarla ayrıştırılır (Şekil 1.4). Bu mıknatıslar çelik parçaları konveyörde ilerlerken alıp ayırır.

6. Kırma ve istenmeyen malzemelerin ayrılma işlemi bittikten sonra GDBA depo edilir. Bu depolama GDBA'nın iri taneli kısmı için KA ile aynı şekilde yapılmasına rağmen ince taneli kısım için malzemeyi yağıştan korumak büyük önem arz etmektedir. Bunun nedeni GDBA'nın içerdiği yapışık çimento harcının hidrate olmamış çimento tanelerinin ikincil çimentolanmaya yol açabilecek olmasıdır.

Betonarme binalar için yukarıda açıklanan 1 ve 2. aşamalar benzer şekilde gerçekleştirilir. Fakat buradan elde edilecek atıkların içerisinde fayans, tuğla, briket vb. daha başka istenmeyen malzemeler de bulunmaktadır (Şekil 1.5). Bu durumda yıkım aşamasının kademeli bir şekilde gerçekleştirilerek sadece beton kısmın ayrı olarak elde edilmesine özen gösterilmelidir. Diğer aşamalar ise genellikle beton yollardan elde edilen atıklarda uygulandığı şekilde devam ettirilmelidir.



Şekil 1.4. Kırıcıda donatıların ayrıştırılması (TS043.2P, 2009)



Şekil 1.5. Bina yıkıntısı

Bazı durumlarda yıkıntı betonu kırma tesisine taşınmayıp, geri dönüşüm yıkımın yapıldığı yerde gerçekleştirilmektedir. Bunun için yerinde geri dönüşümü sağlayabilen mobil konkasörler ve istenmeyen malzemeleri ayırabilecek mobil sistemler geliştirilmiştir (Şekil 1.6).

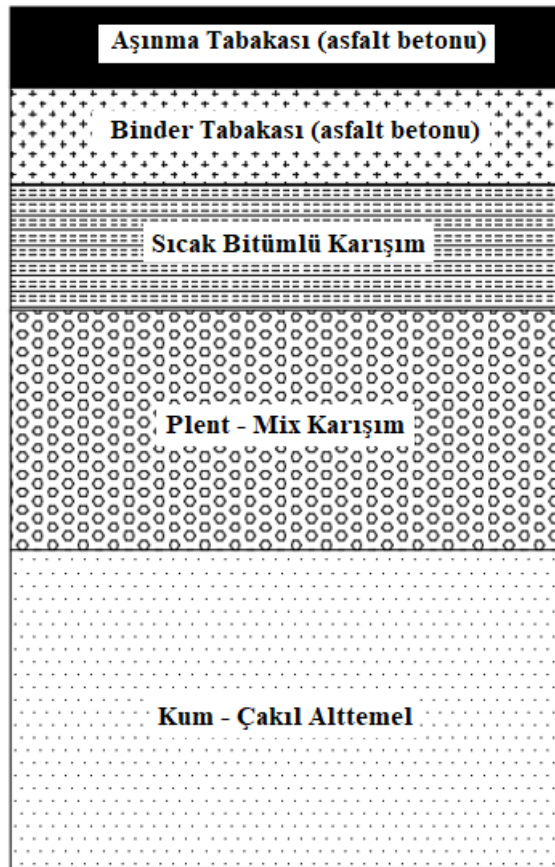


Şekil 1.6. Mobil kırıcı (TS043.2P, 2009)

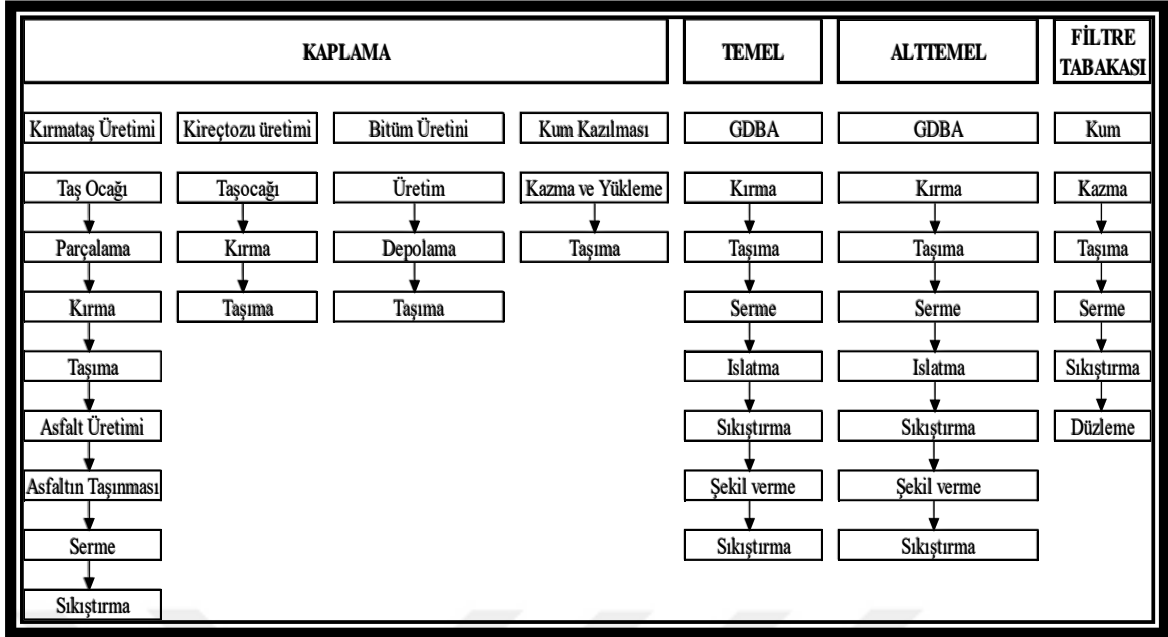
Yukarıda açıklandığı şekilde elde edilen GDBA'lar, elde edildiği betonların özelliklerine, avantajlarına ve dezavantajlarına göre inşaat mühendisliği alanında çok geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu kullanım alanları genel olarak aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Genel dolgu,
- Drenaj elemanları için temel veya dolgu,
- Yol inşaatı (GYT, GYAT, beton kaplama ve asfalt kaplamada agrega olarak),
- Beton,
- Köprü temeli,
- Havaalanı pisti.

Bu tez çalışması kapsamında GDBA'ların esnek üstyapı katmanlarından olan GYT ve GYAT'de kullanılabilirliği araştırılmıştır. Esnek üstyapı genel olarak Şekil 1.7'de gösterilen tipik bir enkesite sahiptir. Şekil 1.8'de GYT ve GYAT'sinde GDBA kullanılarak oluşturulan bir esnek üstyapının inşaat aşamaları verilmiştir.



Şekil 1.7. Tipik bir esnek üstyapının enkesiti



Şekil 1.8. GYAT ve GYT’inde GDBA kullanılan esnek üstyapının yapım aşamaları

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

GDBA'nın kullanımıyla ilgili günümüze kadar pek çok araştırmacı çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalarda GDBA'ların fiziksel, mekanik ve hidrolik özellikleri üzerinde durulmuş; çalışmanın yapıldığı ülke/bölgeye bağlı olarak, GDBA'nın kullanılacağı alanla ilgili gerekli şartları yerine getirip getirmediği incelenmiştir. GDBA'ların GYT ve GYAT'de kullanımıyla ilgili çalışmalarda daha çok aşağıdaki fiziksel, mekanik ve hidrolik özellikler araştırma konusu olmuştur. Bu özellikler:

1. Agrega özellikleri;

- Gradasyon
- Su emme
- Tane yoğunluğu
- Yassılık
- Kıvam limitleri
- LA aşınma dayanıklılığı
- Magnezyum sülfata dayanıklılık

2. Sıkıştırılmış numune (modifiye veya standart Proctor ile) özellikleri;

- Optimum su muhtevası (w_{opt}) - maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmaks})
- CBR değeri
- Geçirimsizlik katsayısı
- Esneklik modülü ve kalıcı deformasyon

şeklinde genel hatlarıyla sıralanabilir.

Yapılan çalışmalardan; GYT, GYAT ve diğer ulaştırma geotekniği alanlarında GDBA kullanımıyla ilgili olan ve aynı zamanda bu tezin kapsamında olanlar bu bölümde verilmiştir.

Chini ve ark. (2001) GDBA'nın sıcak karışımlı asfalt ve Portland çimentolu beton kaplamalar altında temel malzemesi olarak kullanımını araştırmışlardır. Bunun için 9 farklı asfalt ve beton kaplamalı yol bölümü inşa etmişlerdir. Bu çalışmada, farklı oranlarda GDBA ve DA kullanılarak oluşturulmuş beton numunelerinde yapılan laboratuvar deneylerinin sonuçlarına göre; GDBA arttıkça daha düşük basınç, çekme ve eğilme dayanımları gözlenmiştir. GDBA'lı beton numunelerinin DA'lı olanlara göre daha az basınç dayanımı göstermesine rağmen, %100 GDBA ile hazırlanmış numunelerde 35 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir ki bu değer hedef dayanım olan 25 MPa'dan yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak araştırmacılar, asfalt bölümler için 3.04 yıl ve beton kısımlar

için 4.2 yıl olarak simüle edilmiş proje süresinden sonra sertleşmiş betonlu yol bölümlerinin petrografik ve yerinde analizleri sonucunda GDBA'nın en az DA kadar performans gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Nataatmadja ve Tan (2001) 4 farklı GDBA'nın GYT ve GYAT malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla basınç dayanımları 15 – 75 MPa arasında değişen beton numunelerini kırmışlar ve GYAT malzemesini gradasyon şartlarını sağlayacak şekilde yeniden düzenlemişlerdir. Çalışmada, kompaksiyonla oluşturulan numuneler 1 gün sonra TYÜEBD'ye tabi tutulmuştur. Araştırmacılar; Esneklik modülüne, GDBA'nın elde edildiği betonun basınç dayanımının, ince malzeme miktarının ve yassılık endeksinin önemli ölçüde etki ettiğini gözlemlemişler ve çalışma sonunda bütün sonuçları yorumladıklarında, GDBA'nın tüm kalite şartlarını sağlayacak şekilde üretilmesi halinde GYT ve GYAT olarak kullanılabileceğini önermişlerdir.

Park (2003) yaptığı çalışmada kuru ve yaş GDBA'nın beton yolda GYT ve GYAT olarak kullanılabilirliği ile ilgili olarak laboratuvar ve arazide GDBA'nın performansını ve karakteristik özelliklerini araştırmıştır. Çalışmada GDBA'nın fiziksel özelliklerinden olan su muhtevası-yoğunluk ilişkisi, tane özgül ağırlığı ve ince agrega köşelliliği; performans özellikleri olarak da sıkışma, stabilite, kayma direnci ve tane parçalanması/kırılması incelenmiştir. GYT ve GYAT'de GDBA kullanılarak oluşturulmuş yol bölümlerinde ise düşen ağırlık deflektometresi kullanılarak yol bölümlerinin defleksiyonu ölçülmüş, normal kırmataş agrega kullanılarak hazırlanmış GYT ve GYAT durumunda ölçülen defleksiyon değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Poon ve Chan (2006) GDBA'nın ve kırılmış kil tuğlanın GYAT'de agrega olarak kullanılmasını araştırmışlardır. %100 GDBA kullanıldığı zaman, DA'nın kullanıldığı duruma göre GYAT malzemesinin optimum su muhtevasının arttığı ve maksimum kuru yoğunluğun azaldığı şeklinde bir sonuca ulaşmışlardır. GDBA yerine kırılmış kil tuğlasının kullanılmasının ise optimum su muhtevasında daha fazla artışa ve maksimum kuru yoğunlukta daha fazla azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçlar, GDBA'ya göre kırılmış kil tuğlasının daha düşük tane yoğunluğuna ve daha yüksek su emme eğilimine sahip olmasıyla açıklanmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen kuru ve yaş durumdaki CBR değerlerinde ise, %100 GDBA'lı örneklerde DA'lı örneklerle göre azalmalar ve kırılmış kil tuğlasının da GDBA yerine kullanıldığı örneklerde de daha fazla azalmalar gözlenmiştir. Buna rağmen GDBA'ların kullanıldığı tüm örneklerde yaş CBR değerleri, Hong Kong'daki sınır değer olan %30 CBR değerinden daha fazla

bulunmuştur. Ayrıca şişme değerleri %0.13'ten daha az ölçülmüştür ki bu değer ihmal edilebilir seviyededir.

Poon ve ark. (2006) GDBA ile oluşturulan GYAT'nin dayanımının zamanla artmasına neden olan kendiliğinden çimentolanma (ikincil çimentolanma) özelliğini; X-ışını difraktometresi (XRD) desenleri, pH değerleri, basınç dayanımı ve bir yapım-yıkım atığı geri dönüştürme tesisinden elde ettikleri ince taneli GDBA'nın geçirimsizlik özelliklerini belirlemek suretiyle araştırmışlardır. 0.15 mm'den küçük boyutlu ve 0.3 - 0.6 mm boyutları (aktif fraksiyon) arasındaki tane fraksiyonlarını ince taneli GDBA'da kendiliğinden çimentolanma özelliğini etkileyen ana etken olarak gözlemlemişlerdir. Fakat çalışmada ince taneli GDBA'da aktif fraksiyon kısmının toplam kütle içinde belli bir eşik değerden az olduğu durumda GYAT'nin özellikleri üzerinde etkisinin düşük düzeyde olduğu görülmüştür.

Saeed ve Hammons (2008), GDBA'nın hava alanı ve karayolunda kullanımını, sürdürülebilirliği sağlamak için mühendislik, ekonomik ve çevresel ölçütleri dikkate alarak değerlendirmişlerdir. Asıl amaçları ise GDBA'nın GYT'de kullanımıyla ilgili minimum standartlar tanımlayarak, değerlendirme ve inşaat prensipleri geliştirmek olmuştur. Araştırmacılar çalışma kapsamında bazı saptamalar yapmışlardır. Buna göre;

- GDBA, kirlenmemiş Portland çimentolu betondan üretilirse GYT olarak kullanılabilir.

- Magnezyum sülfat dayanıklılığı deneyinde kullanılan kimyasal malzeme nedeniyle, magnezyum sülfat dayanıklılığı deneyi dışında DA için geçerli olan deneyler ve bu deneylerin limit değerleri GDBA için de uygulanabilir.

- GDBA; taban zemininden, yer altı su seviyesinden veya herhangi bir dış etkenden kaynaklanan sülfata maruz kalma ihtimali olan inşaat yerlerinde kullanılmamalıdır.

- ASR çatlakları meydana gelmiş Portland çimentolu betondan elde edilmiş GDBA'nın kullanımını ise inşaat sahasının şartları göz önüne alınarak değerlendirilmelidir.

- GDBA'nın çevreye zararı yoktur.

- Ekonomik analiz yapılacaksa hem GDBA'nın hem de DA ve KA'nın, inşaat başlangıcında malzeme maliyetleri ve inşaat sırasında meydana gelecek maliyetler göz önünde bulundurulmalıdır.

Tam ve ark. (2008) standartların DA ve KA özelliklerini belirlemek için yeterli olduğunu; fakat geri dönüştürülmüş agregalarda, yapışık çimento harcı nedeniyle tekrarlı ıslatma ve kurutma işlemlerini uygularken numune hazırlama sırasında kütle kaybı

olacağından (özellikle yapışık çimento harcının ayrılması şeklinde gerçekleşen), geleneksel su emme deneyinin özellikle beton karışım hesabında hatalı sonuçlara neden olabilme ihtimali olduğunu ve doğru sonuç veremeyeceğini belirtmişlerdir. Bunun için, geri dönüştürülmüş agregalarda su emmenin gerçek zamanlı değerlendirilmesi adıyla yeni bir yöntem önermişlerdir.

Li ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada ağırlıkça %4 - %5 Portland çimentosu ile stabilize edilmiş ve %30 - %100 oranları arasında KA yerine kullanılan GDBA'lı GYT karışım numuneleri hazırlamışlar; çalışma kapsamında karışımların kompaksiyon, serbest basınç dayanımı ve büzülme özelliklerini araştırmışlardır. %100 GDBA'nın kullanıldığı tasarımda KA'lı olana göre optimum su muhtevasında artış ve maksimum kuru yoğunlukta azalma gözlemlenmiştir. 7, 28 ve 90 gün kür edilmiş karışım numunelerinde serbest basınç dayanımı ile GDBA oranları arasında ilişki modeli kurmuşlardır. Büzülme oranının ise GDBA oranı arttıkça arttığını belirlemişlerdir. Çalışma sonunda ise GYT için gerekli şartları sağlayacak, düşük maliyetli ve olabilecek en yüksek oranda GDBA içerecek şekilde karışım parametreleri belirlenmiştir.

Jimenez ve ark. (2011) GYAT malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmak üzere yapım ve yıkım atıklarından elde edilen 7 farklı geri dönüştürülmüş agregayı test etmişlerdir. GDBA dışındaki diğer geri dönüştürülmüş agregaların özellikle sahip olduğu yüksek sülfür içerikleri ve kötü parçalanma dirençleri nedeniyle bazı şartları sağlayamadığını saptamışlardır. Çalışmanın sonucu olarak, GDBA'nın şartlara uygunluğu KA (kıırma kireçtaşı) ile karşılaştırmalı olarak kontrol edilmiş ve deney sonuçlarına göre GDBA'nın GYAT malzemesi için gerekli olan tüm şartları sağladığı görülmüştür.

Gabr ve Cameron (2012) TYÜEBD'ye tabi tuttıkları GDBA'ların tekrarlı yükler altındaki davranışını ve mühendislik özelliklerini incelemişlerdir. Araştırmalarında iki tanesi GDBA ve bir tanesi DA (kuvarsit) olmak üzere 3 farklı malzeme kullanmışlardır. Avustralya'daki inşaat aşamalarını temsil edecek şekilde gerilme aşamaları uygulayarak; optimum su muhtevalarının %60, %80 ve %90'ında hazırlanmış karışım numunelerinde, TYÜEBD ile, GDBA'ların esneklik modülü ve kalıcı deformasyon davranışlarını değerlendirmişlerdir. Çalışma sonunda araştırmacılar tarafından GDBA'nın kuvarsit agrega olan DA'ya göre hem esneklik modülü hem de kalıcı deformasyon davranışı bakımından daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.

Arulrajah ve ark. (2012) elek analizi, modifiye Proctor, tane yoğunluğu, su emme, CBR, LA aşınma kaybı, pH, organik içerik, üç eksenli basınç ve TYÜEBD ile

araştırdıkları GDBA özelliklerinin, GYAT malzemesi için gerekli eyalet yol şartlarına uygunluğunu laboratuvar ortamında araştırmışlardır. CBR değerlerinin GYAT malzemesi için gerekli şartlara uygun olduğunu, LA aşınma deneyleri sonucunda GDBA'nın aşınmaya karşı dayanıklı olduğunu, TYÜEBD ile de GDBA'nın GYAT malzemesi olarak iyi performans verebileceğini gözlemlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, GDBA'nın GYAT olarak kullanılabilmesi için gerekli şartları yerine getirdiği ve GYAT malzemesi olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Jitsangiam ve ark. (2012) Batı Avustralya'da üretilmiş geri dönüştürülmüş agrega kullanılarak oluşturulan beton yolların performansını geleneksel agrega kullanılarak oluşturulmuş yolların performansı ile kıyaslamak için detaylı laboratuvar çalışmaları yapmışlardır. Ayrıca beton, kil tuğla ve fayans karışımlarının da performansları üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Laboratuvar çalışmaları sonucunda geleneksel agrega kullanılan yollara göre geri dönüştürülmüş agrega kullanılan yolların daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Jimenez ve ark. (2012) 2 farklı yapım ve yıkım atığı bölgesinden seçilmiş 2 farklı geri dönüştürülmüş agreganın davranışını ve çevresel etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla, 2007 yılında 2 bölümden oluşan kırsal alanda kaplamasız yol inşa edilmiştir. Yapılan çalışmada, yol bölümleri AASHTO'ya göre A-1-b gradasyon sınıfını sağlayacak ve 2 yapısal tabakadan oluşacak şekilde inşa edilmiştir. 1. yol kısmı, sırasıyla, karışık geri dönüştürülmüş agrega kullanılarak oluşturulan temel tabakası ve GDBA kullanılarak oluşturulan yüzey tabakası şeklinde; 2. yol kısmı ise karşılaştırma amaçlı KA (kıрма kireçtaşı) agrega kullanılarak oluşturulan tabakalar şeklinde inşa edilmiştir. Malzemelerin özellikleri önceden laboratuvarında belirlenmiş ve inşaat alanında sıkışma kontrolü yapılmış, ayrıca taşıma gücü belirlenmiştir. Yolların yapısal performansı düşen ağırlık deflektometresi kullanılarak belirlenmiş, zamanla uluslararası yol yüzey düzgünlüğü endeksindeki değişimler belirlenmiş ve taşıma gücü incelenmiştir. Araştırmacılar, geri dönüştürülmüş agregaların kırsal alanlarda kaplamasız yol inşaatında KA'ya alternatif olarak kullanılmasının bir sakıncasının olmayacağı sonucuna varmışlardır.

Nokkaew ve ark. (2012) 3 farklı GDBA'nın ve 3 farklı geri dönüştürülmüş asfalt kaplamanın geçirimsizlik katsayılarını ve su karakteristik eğrilerini belirlemişlerdir. Geçirimsizlik katsayısını, modifiye Proctor deneyinde elde ettikleri maksimum kuru yoğunluğun %95'inde 152 mm çaplı geçirimsizlik kalıbı kullanarak hazırladıkları numunelerde sabit seviyeli geçirimsizlik deneyi yaparak belirlemişler, geri dönüştürülmüş asfalt kaplamalarda 3.8×10^{-5} - 3.7×10^{-4} m/s arasında ve GDBA'larda 1.6×10^{-5} - 2.6×10^{-5}

m/s arasında bulmuşlardır. Su karakteristik eğrilerini, hava aspiratöleri ile donatılmış büyük ölçekli deneme hücreleri (305 mm iç çaplı ve 76 mm yüksekliğinde) ile asılı kolonlar kullanarak belirlemişlerdir.

Arulrajah ve ark. (2013) bir tanesi GDBA olmak üzere, 3 farklı yapım ve yıkım atığı malzemesinin farklı su muhtevası içeriklerinde GYAT'de kullanıldığında performanslarını belirleyebilmek amacıyla TYÜEBD yapmışlardır. Deneysel sonuçlara göre numunelerin optimum su muhtevasının %70'inde bir su muhtevasına sahip oldukları durumda tatmin edici performans gösterdiklerini gözlemlemişlerdir. Modifiye Proctor deneyinde elde edilen maksimum kuru yoğunluğun %98'inde ve optimum su muhtevasının %65 - %90'ında deneylere tabi tutulan geri dönüştürülmüş malzemelerin çoğunun, GYAT'de kullanılan DA'ya göre nispeten daha düşük kalıcı deformasyona ve daha yüksek esneklik modülüne sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Gabr ve Cameron (2013) 3 farklı GDBA'nın farklı su muhtevalarında kompaksiyon deney sonucuna göre hazırlanmış numuneleri üzerinde TYÜEBD yapmışlar ve bu 3 farklı malzeme için kalıcı deformasyonları baz alarak 7 parametrelilik model önermişlerdir. Çalışma kapsamında oluşturulan model, herhangi bir yükleme tekrarı altında eklenik kalıcı deformasyonları; tekrar sayısı, ortalama normal gerilmenin atmosfer basıncına oranı, maksimum kayma gerilmesi oranı, su muhtevası, optimum su muhtevasına karşılık gelen maksimum kuru yoğunluk ve plastisite indisine bağlı olarak tahmin edebilme kapasitesine sahip olmuştur. Oluşturulan bu kalıcı deformasyon modelinin tahmin etme doğruluğu, malzemeler daha sonra çok aşamalı kalıcı deformasyon deneylerine tabi tutularak test edilmiştir. Sonuç olarak oluşturulan kalıcı deformasyon modelinin, GDBA'lar için istatistiksel olarak, kalıcı deformasyonları çok iyi doğrulukta tahmin edebildiği görülmüştür.

Behiry (2013) geleneksel kireçtaşı agregasıyla (KA) karıştırılmış GDBA'nın Mısır'da GYT ve GYAT'de kullanılabilirliğini araştırmak için laboratuvar deneyleri yapmıştır. Ayrıca karışım değişkenlerinin, çimento ile stabilize edilmiş geri dönüştürülmüş agrega üzerindeki etkisini de araştırmıştır. Araştırmacı, karışım parametrelerine bağlı olarak, basınç ve çekme dayanımlarının tahmin edilebilmesi için bir de model geliştirmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; karışımlara GDBA eklenmesiyle, karışımların mekanik özelliklerinde ve de özellikle serbest basınç mukavemetinde iyileşme meydana gelmiştir. Çimento ile stabilize edilmiş geri dönüştürülmüş agreganın performansı üzerinde ise, serbest basınç değerlerine etki eden değişkenler olan çimento içeriği, kür zamanı ve kuru yoğunluğun önemli derecede etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Kim ve ark. (2013) bir tanesi GDBA'lı olmak üzere 3 farklı agreganın GYT olarak kullanılabilirliği ile ilgili mekanik ve çevresel etkileri göz önüne alarak çalışma yapmışlardır. Bunun için optimum su muhtevasında ve maksimum kuru yoğunlukta hazırlanan sıkıştırılmış numuneler üzerinde, malzemelerin mekanik ve çevresel özelliklerini değerlendirebilmek amacıyla, esneklik modülü (TYÜEBD ile) ve tüp vakum deneyleri yapmışlardır. Laboratuvar deneyleri sonucunda, GDBA'lı numunelerin DA'lı numunelere göre dona karşı daha yüksek duyarlığa sahip olduğu ve mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu bulunmuştur.

Arulrajah ve ark. (2014a) yapım ve yıkım atıklarından olan GDBA da dahil olmak üzere geri dönüştürülmüş tuğla, geri dönüştürülmüş cam, geri dönüştürülmüş asfalt kaplaması ve atık kazı kayası malzemelerinin GYT ve GYAT olarak kullanılabilirliğini araştırmak için, her bir malzemenin kompaksiyon özelliklerini ve kayma direnci parametrelerini laboratuvar deneyleri ile araştırmışlardır. Deneyler sonucunda, tüm sıkıştırılmış yapım ve yıkım atığı malzemelerinin GYT ve GYAT'de kullanılabilmesi için gerekli minimum efektif içsel sürtünme açısına sahip oldukları gözlemlenmiştir. GDBA'nın kompaksiyon eğrisinin çan şeklinde olduğu ve kayma direnci deneyinde maksimum yük noktasının rahatça belirlenebildiği görülmüş olup, geri dönüştürülmüş asfalt kaplamasında ise kompaksiyon eğrisinin düz çizgi eğiliminde olduğu ve kayma direnci deneyinde sünek bir davranış belirlenmiştir. Ayrıca GDBA'nın GYT ve GYAT malzemesinde bulunması gereken fiziksel ve kayma direnci gereksinimlerini de karşıladığı görülmüştür.

Arulrajah ve ark. (2014b) sürdürülebilirliğe katkı sağlamak amacıyla %100, %50, %30, %15 oranlarında geri dönüştürülmüş asfalt kaplamasının GDBA ile karışımları üzerinde, laboratuvar da geoteknik özellikleriyle ilgili deneyler yaparak, bu karışımların GYAT'de alternatif malzeme olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda, %15 geri dönüştürülmüş asfalt kaplaması içeren karışımların, GYAT'de kullanılabilmesi için gerekli TYÜEBD şartlarını sağladığı görülmüştür. GYAT'si %100 geri dönüştürülmüş asfalt kaplaması ile oluşturulmuş bir ağır taşıt yolunun GYAT için gerekli dayanım şartlarını sağlayamadığı görülmüştür. Araştırmacılar, %100 geri dönüştürülmüş asfalt kaplaması ve geri dönüştürülmüş asfalt kaplaması - GDBA karışımlarının gerekli şartları tam olarak sağlayamamasına rağmen, trafik yoğunluğunun düşük olduğu yollarda kullanımlarının potansiyel olarak mümkün olabileceğini belirtmişlerdir.

Ayan ve ark. (2014) GDBA'nın ve geri dönüştürülmüş asfalt kaplamasının GYAT'de kullanılabilirliğinin uygunluğu ile ilgili çalışma yapmışlardır. DA ile karşılaştırıldığında %100 geri dönüşümlü agrega kullanıldığı durumda GYAT'nin optimum su muhtevasında artış ve maksimum kuru yoğunluğunda azalma meydana gelmiştir. GDBA'nın da geri dönüştürülmüş asfalt kaplaması ile %50 oranında birlikte olduğu karışımlarda ise, %100 GDBA'lı olan numunelere göre optimum su muhtevasında daha fazla artma ve maksimum kuru yoğunlukta azalma gözlenmiştir. %100 GDBA'lı numunelerin CBR değerleri %100 DA'lı olan numunelere göre daha az gözlemlenmiştir. %50 GDBA + %50 geri dönüştürülmüş asfalt kaplaması içeren numunelerde ise CBR değerlerinde daha fazla azalma gözlenmiştir ki, bu durumda elde edilen CBR değerleri, karışım malzemesinin GYAT olarak kullanılmasına imkan vermemiştir.

Haider ve ark. (2014) 2 farklı GDBA'nın GYT olarak yollarda yeniden kullanımını değerlendirmek için, laboratuvar ortamında esneklik modüllerini, kalıcı deformasyonlarını ve dayanıklılıklarını belirlemişlerdir. Aynı özellikleri, hem geleneksel olarak GYT'de kullanılan DA malzemedeki hem de GDBA - DA karışımlarında araştırmışlardır. GDBA'lı numunelerin esneklik modüllerinin DA'lı olanlarına göre 2 - 2.6 kat arasında daha yüksek olduğunu deneyler sonucunda gözlemlenmişler, donma - çözülme çevrimlerinden sonra ise bu farkın daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Fakat araştırmacılar tarafından karışıma eklenen GDBA oranıyla CBR ve esneklik modülü değerleri arasında bir bağlantı gözlemlenmemiştir. Genel olarak, DA'lı numunelerin GDBA'lı olanlara göre daha düşük kalıcı deformasyon gösterdikleri bulunmuş; fakat CBR, esneklik modülü, kalıcı deformasyon ve karışıma eklenen GDBA oranı arasında bir bağlantı kurulamamıştır. Esneklik modülünün GDBA'larda artan donma-çözülme çevrimleri sayısı ile beraber arttığı gözlemlenmiştir.

Jitsangiam ve ark. (2015) GDBA'nın kendiliğinden çimentolanma özelliği üzerinde çalışmışlardır. Bunun için, birisi yüksek dayanımlı betondan elde edilmiş GDBA ve birisi de GDBA'nın tuğla ve temiz moloz ile karışımı olan, 2 farklı türde GDBA kullanmışlardır. Farklı sürelerde kür edilmiş numunelerin sertleşme davranışlarını incelemek amacıyla; laboratuvar ortamında deney numuneleri üzerinde serbest basınç, dolaylı çekme dinamik modülü ve esneklik modülü değerlerini belirlemişlerdir. Numunelerin mikro yapılarını belirlemek amacıyla SEM ve XRD yöntemlerini kullanmışlardır. Deney sonuçları ve deneyler esnasındaki gözlemlere göre; ilk başta granüler ve bağlayıcısız durumda olan yüksek basınç dayanımına sahip betondan elde edilmiş GDBA, zamanla kür koşulları nedeniyle bağlayıcılı bir hale dönüşmüştür. XRD ve SEM analizlerinden

bunun sebebinin ikincil hidratasyon (ikincil çimentolanma) olduğu görülmüştür. Karışık moloz ve tuğla içeren GDBA'lı numune ise küre tabii tutulduğunda dahi bağlayıcısız granüler yapısını kaybetmemiş; bunun nedeni ise araştırmacılar tarafından, GDBA'nın aktif olmayan moloz ve tuğla ile karıştırılması sonucunda, GDBA'da ikincil çimentolanma eğiliminin azalması olarak açıklanmıştır.

Kumar (2017) beton kaplamalarda GDBA kullanımını incelemek amacıyla, 0.44 ve 0.38 olacak şekilde iki farklı su/çimento oranında 2 farklı beton karışımı hazırlamışlar, böylece KA yerine kullanılacak GDBA'nın beton kaplama yollarda nasıl performans vereceğini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, beton kaplama yollarda kullanılacak agregaların sahip olması gereken yüksek aşınma dayanıklılığının GDBA'da gözle görülür bir biçimde az olmasına rağmen yine de GDBA'nın beton kaplamalarda etkili bir biçimde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Morafa ve ark. (2017) petrol platformlarındaki ve deniz suyuna maruz kalan iskelelerdeki betonların geri dönüştürülüp GYT ve GYAT'de kullanımını araştırmak amacıyla, farklı oranlarda petrol ile kirletilmiş kübik beton numuneleri oluşturmuşlar ve bu numunelerin kür aşamasını İran'da Çabahar körfezinde deniz suyuna açık şekilde gerçekleştirmişlerdir. Numuneler sonraki aşamada kırılmış ve laboratuvar ortamında uygun bir kırıcı ile parçalanarak GDBA haline getirilmiş ve bunların GYT ve GYAT'de kullanımının uygunluğu incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre malzeme özelliklerinin standartlarda belirtilen şartları sağladığı belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde tez kapsamında özellikleri araştırılan malzemelerin temini, GDBA'ların laboratuvar tipi kırıcıda kırılması ve eleme işlemi sonucunda deneylere hazır hale getirilmesi, deneylerin prosedürleri, görüntü analizleri, kalınlık hesabı ve maliyet analizinin nasıl yapıldığı ile ilgili bilgiler verilmiştir.

3.1. Malzeme Temini ve Malzemelerin Deneylere Hazır Hale Getirilmesi

KA Konya ilinin Eğribayat bölgesindeki bir kırmataş tesisinden, DA ise Karaömerler bölgesinden doğal taşocağından sağlanmıştır. GDBA'lar Konya ilinin Meram bölgesinden, Meram Belediyesi tarafından kentsel dönüşüm uygulamaları kapsamında yıkılmış 3 farklı binadan elde edilmiştir (Şekil 3.1). Malzeme temininden önce bölgede kapsamlı bir inceleme yapılmış ve farklı dayanımlara sahip olan 3 farklı bina tespit edilerek, bu binaların yıkıntılarında karot numuneler alabilmek için örnek beton bloklar alınmıştır. Basınç dayanımları laboratuvar ortamında belirlenen (Şekil 3.2) yıkıntı binalardan laboratuvar deneylerinde kullanılmak üzere yeterli miktarda malzeme alınarak laboratuvara getirilmiştir. Malzemelerin karot numunelerinin basınç dayanımları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Getirilen numuneler laboratuvar ortamında çeneli kırıcı kullanılarak (Şekil 3.3), KTŞ'de (2013) GYT ve GYAT malzemeler için verilmiş olan Çizelge 3.2'deki uygun gradasyon sınırlarının içinde kalmaya özen gösterilerek, maksimum tane çapı 25 mm olacak şekilde seçilen granülometriye uygun hale getirilmiştir. Burada seçilen gradasyonun özellikle GYT - B malzemesinin gradasyon sınırları içerisinde kalması sağlanmıştır. Bu gradasyon, günümüzde yaygın şekilde kaplama tabakası olarak asfalt betonunun kullanıldığı esnek üstyapılardaki GYT için kullanılmaktadır. Sonra GDBA'lar uygun fraksiyonlara ayrılarak çuvallara doldurulmuş (Şekil 3.4) ve her deney için bu fraksiyonlardaki malzemeler seçilen gradasyona uygun olacak şekilde tartılarak karışımlar hazırlanmıştır. Elek analizi sonucunda elde edilen granülometri eğrileri 5 farklı malzeme için Şekil 3.5'te verilmiştir. Buna göre malzemelerin üniformaluluk ve süreklilik katsayıları ile ASTM D2487 (2017) Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS) ve AASHTO M-145-91 (2004) standartlarına göre zemin sınıfları Çizelge 3.3'te verilmiştir. AASHTO sınıfları KA, Güçlü GDBA (G), Orta GDBA (O) ve Zayıf GDBA (Z) için A-1-a ve DA için A-2-4

bulunmuştur. Buna göre malzemeler temel zemini için iyi ve/veya çok iyi olarak sınıflandırılabilir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.1. a) Yıkıntı bina sahası, b) Beton bloklar, c) Beton blokların temini



(a)



(b)

Şekil 3.2. a) Silindirik karot numunelerin alınması, b) Karot numunelerin basınç dayanımı sonrası durumları

Çizelge 3.1. GDBA'ların karot numune dayanımları

Malzeme	Numune Dayanımı (MPa)
G	18.5
O	15.2
Z	11.7

Çizelge 3.2. GYT ve GYAT malzemelerinin tipik gradasyonları ve seçilen GDBA gradasyonu (KTŞ, 2013)

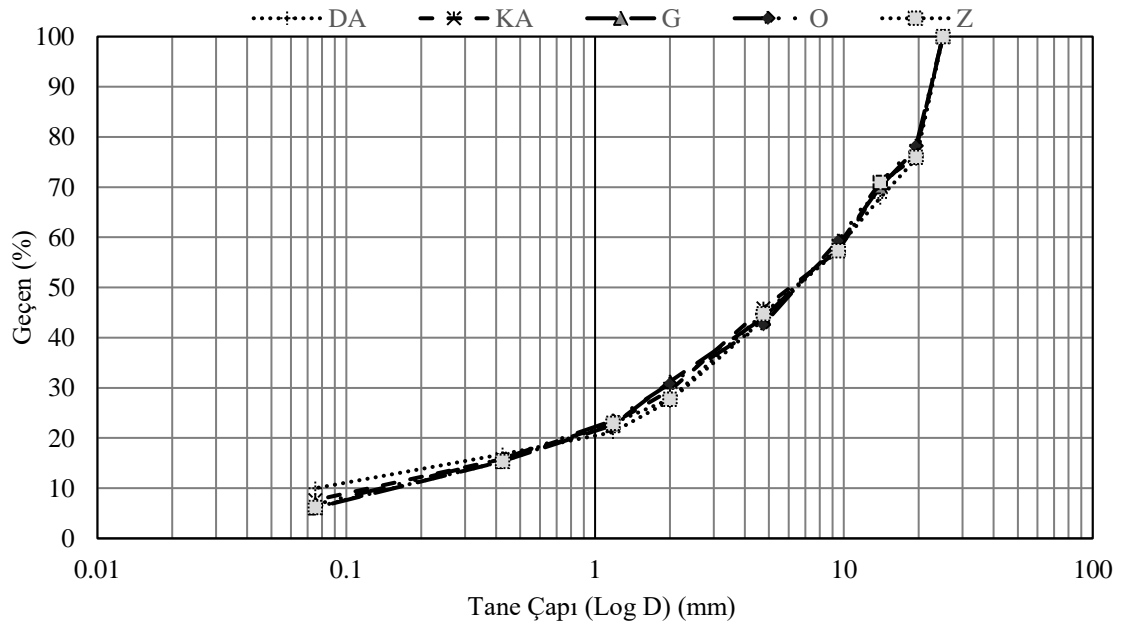
Elek açıklığı (mm)	GYAT malzemesi		GYT malzemesi	Seçilen
	TİP-A (DA için) % Geçen	TİP-B (KA için) % Geçen	B % Geçen	
75	100	-	-	-
50	-	100	-	-
37.5	85-100	80-100	100	100
25	-	60-90	70-100	100
19	70-100	45-80	60-92	75
9.5	45-80	30-70	40-75	60
4.75	30-75	25-55	30-60	40
2	-	15-40	20-45	25
0.425	10-25	10-20	10-25	15
0.075	0-12	0-12	0-12	5



Şekil 3.3. GDBA'ların uygun gradasyona getirilmesinde kullanılan laboratuvar tipi çeneli kırıcı



Şekil 3.4. Elenerek tane fraksiyonlarına göre çuvallara doldurulmuş GDBA'lar



Şekil 3.5. Malzemelerin granülometri eğrileri

Çizelge 3.3. Malzemelerin AASHTO ve USCS'ye göre sınıflandırılması

Özellik	KA	DA	G	O	Z
D ₁₀	0.125	0.08	0.14	0.14	0.14
D ₃₀	1.93	2.05	1.93	1.93	1.93
D ₆₀	10	10	10	10	10
Üniformluluk sayısı (C _u)	90.91	125	71.43	71.43	71.43
Süreklilik sayısı (C _c)	2.98	5.25	2.66	2.66	2.66
Likit limit (w _l)	23.00	28.61	28.71	29.68	30.72
Plastik limit (w _p)	-	21.17	-	-	-
USCS sınıfı	GW	GP-GC	GW	GW	GW
AASHTO sınıfı	A-1-a	A-2-4	A-1-a	A-1-a	A-1-a

“Tezin Amacı ve Kapsamı” bölümünde adı geçen deneyler ve analizler toplam 23 farklı tasarım üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımlardan 5 tanesi malzemelerin saf hallerinden oluşturulmuştur. Diğer 18 tasarım ise her GDBA'nın KA ve DA ile %25 - %50 - %75 oranlarında karıştırılmasıyla oluşturulmuştur. Çizelge 3.4'te her bir tasarım ve bunların isimlendirilmesi görülmektedir. 3 farklı GDBA sırasıyla basınç dayanımları yüksek olandan az olana göre G, O ve Z olarak isimlendirilmiştir. Buna göre örneğin, “25 DA 75 O” tasarımında %25 oranında DA ve %75 oranında O bulunmaktadır. KTŞ'de (2013) GYT ve GYAT'de kullanılacak malzemelerin sağlaması gereken şartlar verilmiştir. Bu şartlar GYAT için Çizelge 3.5 ve GYT için Çizelge 3.6'da görülmektedir. Bundan sonraki aşamalarda her bir deney ve analiz için takip edilen yöntem ve standartlara uygun olarak tez çalışması gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan tasarımlar ve bu tasarımların isimlendirilmesi

Tasarım Numarası	Tasarım İsmi	Tasarım Numarası	Tasarım İsmi
1	100 KA	13	25 KA 75 O
2	100 DA	14	25 KA 75 Z
3	100 G	15	75 DA 25 G
4	100 O	16	75 DA 25 O
5	100 Z	17	75 DA 25 Z
6	75 KA 25 G	18	50 DA 50 G
7	75 KA 25 O	19	50 DA 50 O
8	75 KA 25 Z	20	50 DA 50 Z
9	50 KA 50 G	21	25 DA 75 G
10	50 KA 50 O	22	25 DA 75 O
11	50 KA 50 Z	23	25 DA 75 Z
12	25 KA 75 G		

Çizelge 3.5. GYAT malzemesinin sahip olması gereken özelliklerin sınır değerleri (KTŞ, 2013)

Özellik	Şartname Limitleri	Deney Standardı
Hava tesirlerine karşı dayanıklılık, MgSO ₄ ile kayıp (%)	≤ 25 (MS ₂₅)	TS EN 1367-2
Parçalanma direnci (Los Angeles) (%)	≤ 45 (LA ₄₅)	TS EN 1097-2
Yassılık endeksi (%)	≤ 30 (FI ₃₀)	TS EN 933-3
Su emme (İri ve ince Agregada) (%)	≤ 3.5 (WA ₂₄ 3.5)	TS EN 1097-6 (Madde 8)
Likit limit (%)	≤ 25	TS 1900-1
Plastisite endeksi (%)	≤ 6	TS 1900-1
Yaş CBR (%)	≥ 30	TS 1900-2
Derecelenme	İyi	-

Çizelge 3.6. GYT malzemesinin sahip olması gereken özelliklerin sınır değerleri (KTŞ, 2013)

Özellik	Şartname Limitleri	Deney Standardı
Hava tesirlerine karşı dayanıklılık, MgSO ₄ ile kayıp (%)	≤ 20 (MS ₂₀)	TS EN 1367-2
Parçalanma direnci (Los Angeles) (%)	≤ 35 (LA ₃₅)	TS EN 1097-2
Yassılık endeksi (%)	≤ 25 (FI ₂₅)	TS EN 933-3
Su emme (İri ve ince Agregada) (%)	≤ 3.0 (WA ₂₄ 3)	TS EN 1097-6 (Madde 8)
Likit limit (%)	NP	TS 1900-1
Plastisite endeksi (%)	NP	TS 1900-1
Yaş CBR (%)	≥ 100	TS 1900-2
Derecelenme	İyi	-

3.2. Agregat Deneyleleri

Malzemelerin uygun gradasyonlara getirilmesinin ardından, yassılık endeksi, kıvam limitleri, tane yoğunluğu ve su emme, LA aşınma, magnezyum sülfat dayanıklılığı ve ASR deneyleri yapılmıştır. Bu bölümde ilgili deneylerin nasıl ve hangi standartlara uygun olarak gerçekleştirildiği açıklanmıştır.

3.2.1. Yassılık endeksi deneyi

Agregaların mekanik özelliklerinin izotrop olarak davranması, onların eş yönlü davranışı sayesinde daha stabil halde olmalarına neden olmaktadır. Bu nedenle agregalar için yassılık endeksi değerleri hesaplanmakta ve buna göre yassı ve ince tane oranları belirlenerek, agregaların daha zayıf olan düzlemleri üzerinde mekanik özelliklerinin nasıl olacağı değerlendirilebilmektedir. Buna göre 4-80 mm arasındaki malzeme

fraksiyonlarına yassılık endeksi deneyleri uygulanmaktadır. Tez kapsamında ise, malzemeler maksimum 25 mm çapında tanelere sahip olduklarından 4 - 25 mm arasındaki tane fraksiyonlarında yassılık endeksi deneyi yapılmıştır.

23 farklı tasarım için TS EN 933-3 (2012) standardına göre yassılık endeksi deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6). Bu yöntemde göre, her tane büyüklüğü fraksiyonu (d_i / D_i) TS EN 933-3'te (2012) verilen uygun çubuklu elekten elenir. Bu eleme işlemi elle gerçekleştirilmeli ve elek üzerinde kalan malzemenin kütlesi 1 dakikalık eleme işlemi sonrasında %1'den daha fazla değişmiyorsa işlem tamamlanmış olarak kabul edilmelidir. Çubuklu elekten geçen her tane büyüklüğü fraksiyonundaki malzeme tartılır. Sonuçta bütün (d_i / D_i) tane büyüklüğü fraksiyonu kütlelerinin toplamı hesaplanır. Çubuklar arası açıklığın $D_i / 2$ olan elekten geçen (d_i / D_i) tane büyüklüğü fraksiyonlarının her birindeki tanelerin kütlelerinin toplamı hesaplanır. Her tane fraksiyonunda yassılık endeksi ayrı ayrı hesaplanabileceği gibi toplam yassılık endeksi de hesaplanabilmektedir. Toplam yassılık endeksi Eşitlik 3.1'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Yassılık Endeksi (FI)} = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \quad (3.1)$$

Burada,

FI: Yassılık endeksi (%)

M_2 : Her d_i / D_i tane fraksiyonundaki çubuklu elekten geçen kuru kütlelerin toplamı (gr)

M_1 : Her d_i / D_i tane fraksiyonundaki kare gözlü elekte kalan kuru kütlelerin toplamı (gr)



Şekil 3.6. Yassılık endeksi deneyinin yapılışı

3.2.2. Kıvam limitleri deneyleri

23 farklı tasarımın kıvam limitleri TS 1900-1 (2006) standardına uygun olarak bulunmuştur. Bu deneylerle likit ve plastik limitler tayin edilmiştir.

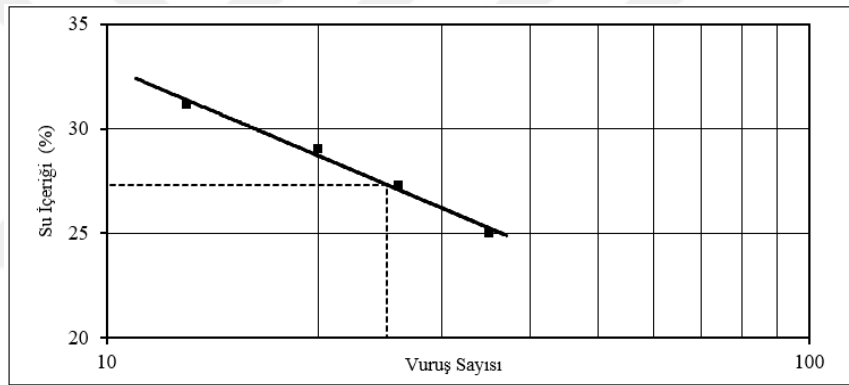
Likit limitler hem Casagrande yöntemi hem de koni penetrasyon yöntemi ile tayin edilmiştir.

TS 1900-1'e (2006) göre Casagrande yöntemi için 200 gr kadar 0.425 mm elekten elenmiş kuru malzeme alınır. Bu malzeme kıvam alıncaya kadar 10 - 40 dk kadar belli bir su muhtevasında karıştırılır. Karıştırma işlemi bittikten sonra likit limit belirleme cihazı kabının tabanı sert plastik yüzeye dokunur haldeyken, malzeme kabın içine üst yüzeyi yere paralel olacak şekilde yerleştirilir. Sonra kabın ortasına "V" şeklinde boyuna düzlemde bir oluk açılır. Saniyede 2 devir olacak şekilde kol döndürülerek kabın maksimum 10 mm yükseklikten sert plastik yüzeye düşmesi sağlanır ve vuruşlar sayılır. Oluğun tabanında 13 mm birleşme olduğu andaki vuruş kaydedilir ve su muhtevası için

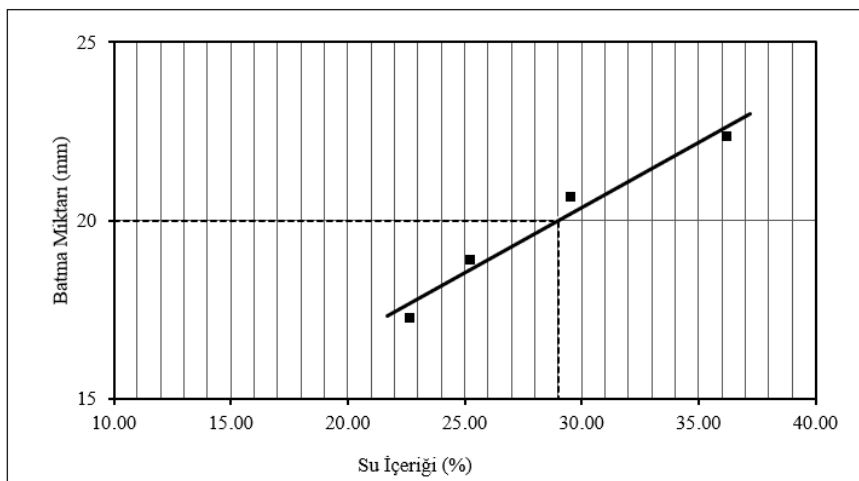
kaptan en az 10 gr örnek alınıp etüve konulur. Bu işlem 3 veya 4 farklı su muhtevasında tekrarlanıp, vuruş (log) - su muhtevası (%) grafiği çizilir ve bu grafikten 25 vuruşa karşılık gelen su içeriği likit limit olarak bulunmuş olur.

TS 1900-1'e (2006) göre likit limit koni penetrasyon yöntemiyle de bulunmuştur. Bu yöntemde numune hazırlama işlemleri Casagrande yöntemiyle aynı olup, karıştırma bittikten sonra malzeme metal bir kap içerisine boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilir ve üst yüzey düzlenir. Ağırlığı 80 gr olan 30° açılı konik bir uç 5 saniye boyunca malzeme üzerinden serbest düşmeye bırakılır ve batma miktarı kaydedilir. Farklı su muhtevalarında 3 veya 4 defa tekrarlanan bu işlem sonrasında su muhtevası (%) - batma (mm) grafiği çizilir. Grafikte 20 mm batmaya karşılık gelen su muhtevası likit limit olarak belirlenmiş olur.

Şekil 3.7'de likit limit hesaplamak için çizilen örnek grafikler verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.7. Likit limit bulabilmek için çizilen grafikler, a) Casagrande yöntemi, b) Koni penetrasyon yöntemi

Plastik limit ise TS 1900-1'de (2006) cam bir yüzey üzerinde yuvarlanıp silindir haline getirilen numunede, numune çapı 3 mm olan silindir haline geldiğinde çatlakların veya kopmanın olduğu durumdaki su muhtevası olarak tanımlanmaktadır.

Plastik ve likit limitler belirlenirken su muhtevası Eşitlik 3.2'deki gibi hesaplanmaktadır. Plastisite indisi ise Eşitlik 3.3'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$w = \frac{M_{yaş} - M_{kuru}}{M_{kuru}} \times 100 \quad (3.2)$$

Burada,

w: su muhtevası (%)

$M_{yaş}$: Deneyle sırasında alınan numunelerin yaş kütlesi (gr)

M_{kuru} : Deneyle sırasında alınan numunelerin kuru kütlesi (gr)

$$I_p = w_l - w_p \quad (3.3)$$

Burada,

I_p : Plastisite indisi (%)

w_l : likit limit (%)

w_p : plastik limit (%)

3.2.3. Tane yoğunluğu ve su emme deneyleri

TS EN 1097-6 (2013) deney prosedürü takip edilerek tane yoğunluğu ve su emme yüzdeleri 23 farklı tasarım için belirlenmiştir. 4 - 25 mm boyutlarındaki tane fraksiyonları ve 0.075 - 4 mm tane fraksiyonları için ayrı ayrı iki farklı su emme değeri ve tane yoğunluğu belirlenmiştir.

TS EN 1097-6'ya (2013) göre piknometre yardımıyla tane yoğunlukları bulunmuştur. Bu metoda göre, belli miktarda ayrılan kuru malzeme piknometre ile birlikte tartılır (Şekil 3.8). Ardından piknometrenin kendi kütlesini bulmak amacıyla piknometre tek başına tartılır. Piknometre ve zemin su ile doldurulup havası alınarak tartılır ve son olarak su ile doldurularak havası alınmış piknometrenin kütlesi, tartılarak



Şekil 3.8. Tane yoğunluğu değerlerinin bulunması için ayrılan malzemeler

bulunur. Bu işlemlerden sonra Eşitlik 3.4 ile tane yoğunluğu hesaplanır. Hesaplamalarda bu eşitlik kullanılmıştır.

$$\rho_s = \frac{M_2 - M_1}{[(M_3 - M_1) - (M_4 - M_2)]} \times \rho_{su} \quad (3.4)$$

Burada,

ρ_s : Tane yoğunluğu (gr/cm³)

M_1 : Piknometre kütlesi (gr)

M_2 : Piknometre + kuru malzeme kütlesi (gr)

M_3 : Piknometre + su kütlesi (gr)

M_4 : Piknometre + malzeme + su kütlesi (gr)

ρ_{su} : Su yoğunluğu (1 gr/cm³)

TS EN 1097-6'ya (2013) göre su emme değerleri bulunmuştur. 4 - 25 mm ve 0.075 - 4 mm tane fraksiyonları için ayrı olarak bulunmuş su emme değerleri için izlenen yöntem benzerlik göstermektedir. Buna göre belli miktarlarda alınan kuru malzeme

örnekleri önce 24 saat boyunca suya daldırılır (Şekil 3.9). Ardından sudan çıkarılan numuneler hava akımı sağlayan bir cihazla doymun yüzey kuru duruma getirilinceye kadar kurutulur. Doymun yüzey kuru durumda örneklerin sadece yüzeylerinin kuru olmasının sağlanması gerekmektedir. Bunun için kuru havlu veya bez de kullanılabilir. Eşitlik 3.5 ile su emme değerleri hesaplanır.

$$WA_{24} = \frac{M_5 - M_6}{M_6} \times 100 \quad (3.5)$$

Burada,

WA_{24} : Su emme değeri (%)

M_5 : Doymun yüzey kuru malzeme kütlesi (gr)

M_6 : Etüvde kurutulmuş malzeme kütlesi (gr)



Şekil 3.9. Su emme değerini bulmak için suya daldırıldıktan sonra kuruması beklenen malzeme

3.2.4. Los Angeles (LA) aşınma deneyi

LA aşınma deneyi GYT ve GYAT malzemelerinin aşınmaya karşı dayanıklılığını belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

23 farklı tasarım için LA aşınma deneyleri yapılmıştır. Bunun için 10 - 14 mm boyutları arasındaki tanelere sahip 5000 gr kütledeki malzeme kısımlarının aşınma dirençleri belirlenmiş ve yüzde malzeme kaybı LA aşınma değeri olarak hesaplanmıştır.

LA aşınma deneyi TS EN 1097-2 (2010) standardına göre belirlenen yöntemle yapılmıştır. Bu yöntemle daha önce, ince taneleri yıkamalı yöntemle ayrıştırılmış ve ardından etüve konularak bir gün süreyle $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulmuş malzemenin 10 - 14 mm boyutları arasındaki tanelerinden 5000 gr kadar ayrılır. Toplam kütleleri 4800 gr olacak şekilde 11 tane metal bilye 33 devir/dk hızla dönebilen tamburun içine 5000 gr kütledeki malzeme kısmıyla beraber yerleştirilir ve tambur döndürülmeye başlanır. Tambur 500 devir yaptıktan sonra deneye son verilir ve ince + kaba tanelerin karışımı haline gelmiş malzeme alınır, 1.6 mm çaplı elekten ykanarak elenir. 1.6 mm elek üstünde kalan malzeme, ardından bir gün boyunca $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulur ve tartılır. Şekil 3.10'da deney aleti, malzemelerin durumları ve deney sonrasındaki durumları görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.10. a) LA aşınma deneyi tamburu, **b)** Deney öncesi malzeme (iri taneli halde), **c)** Deney sonrası malzeme (ince ve iri taneler birlikte)

Deney sonucunda 1.6 mm çaplı elekten geçen malzeme miktarının ilk malzeme miktarı olan 5000 gr'ye oranlanması sonucunda LA aşınma değeri bulunmuş olur. Hesaplama Eşitlik 3.6'ya göre yapılmakta olup, sonuçlar yüzde cinsinden verilir.

$$LA \text{ aşınma} = \frac{5000 - M_{1.6 \text{ mm elekten elenen}}}{100} \quad (3.6)$$

Burada,

$M_{1.6 \text{ mm elekten elenen}}$: Deney sonunda 1.6 mm elekten geçen kuru kütle (gr)

3.2.5. Magnezyum sülfat dayanıklılığı deneyi

Magnezyum sülfat dayanıklılığı deneyi 23 farklı tasarım için yapılmıştır. Magnezyum sülfat dayanıklılığı deneyi, malzemelerin dayanıklılık özelliklerinden olan donma - çözülme etkisine alternatif olarak yapılmış olup, bu deney sonucunda elde edilen yüzde olarak malzeme kaybı değerleri malzemelerin kötü çevre şartlarına karşı dayanıklılığını değerlendirmeye yardımcı olmuştur.

Magnezyuma sülfat dayanıklılığı deneyi TS EN 1367-2 (2010) standardında verilen yönteme göre 23 farklı tasarım için gerçekleştirilmiştir. İlgili standarda göre bu deney, ince kısmının ayrıştırılması için önceden yıkanmış, $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 'de kurutulmuş ve 10 - 14 mm boyutlarındaki kısmı ayrılmış malzeme üzerinde gerçekleştirilir. Öncelikle 3 litre su içerisinde, litre başına 1500 gr kristal tuzun çözünmesiyle elde edilen MgSO_4 çözeltisi oluşturulur. Çözelti belli aralıklarda karıştırılmak şartıyla 48 saat bekletilir. 10 - 14 mm boyutlarındaki tanelerinden 500 gr kadar alınan malzeme 48 saat bekletilmiş MgSO_4 çözeltisi içerisinde, metal bir sepet aracılığıyla 17 saat boyunca daldırılır (Şekil 3.11.a). Daldırma işleminin ardından çözülden çıkarılan numune, suyu süzöldükten sonra 24 saat boyunca $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 'de kurutulur. Numune kurutma işleminden sonra tekrar MgSO_4 çözeltisine daldırılır. Bu işlemler art arda 5 çevrim boyunca devam eder. 5. çevrim sonunda etüvde kurutulan numune 10 mm çaplı elekten yıkanarak elenip (Şekil 3.11.b), bir gün boyunca $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 'de kurutulur ve tartılır.

Tartma işlemi gerçekleştirildikten sonra, 10 mm çaplı elekten geçen malzeme kısmının kütlesi ilk malzeme kütlesine oranlanır. Böylece malzeme kaybı bulunmuş olur. Eşitlik 3.7'de yüzde olarak malzeme kaybının hesaplanması gösterilmiştir.

$$MS = \frac{100 \times (M_{\text{ilk}} - M_{10 \text{ mm elekten elenen}})}{M_{\text{ilk}}} \quad (3.7)$$

Burada,

MS: Magnezyum sülfat dayanıklılığı deneyinde malzeme kaybı (%)

M_{ilk} : Deneyden önceki kuru kütle (gr)

$M_{10 \text{ mm elekten elenen}}$: Deneyden sonra 10 mm elekten elenen kısmın kuru kütlesi (gr)



(a)



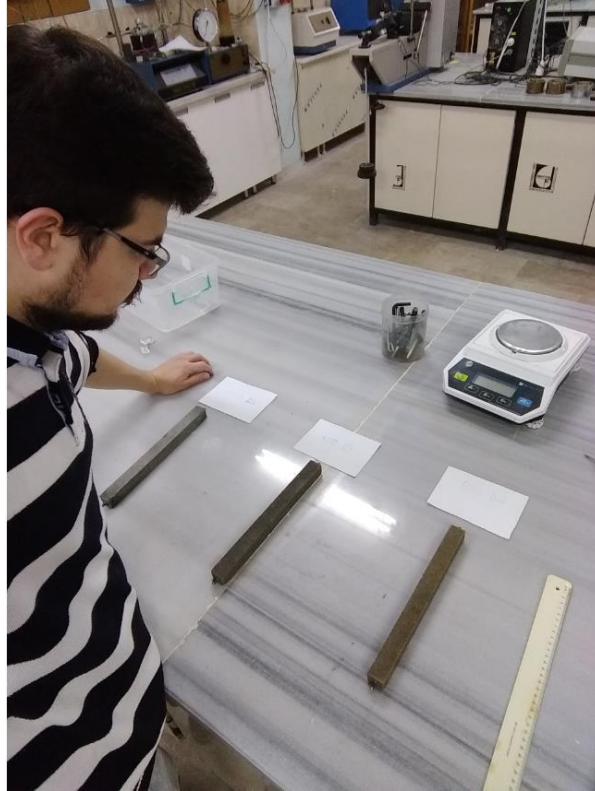
(b)

Şekil 3.11. Magnezyum sülfat dayanıklılığı deneyi **a)** sırasında malzemenin suya daldırılması, **b)** sonrasında elenmiş malzeme

3.2.6. Alkali silika reaksiyonu (ASR) deneyi

Malzemelerin saf hallerinden oluşan 23 farklı tasarım üzerinde ASR deneyleri yapılmıştır. Böylece agregaların ASR için aktif olup olmadıkları belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında ASR deneyleri CAN/CSA-A23.2-25A-14 (2014) standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu standarttaki yönteme göre, 1 litre NaOH çözeltisinde (40 gr NaOH içeren) harç çubuklarının genişmesinin kontrolü amacıyla farklı karışımlara ait harç çubukları hazırlanır (Şekil 3.12). Öncelikle numuneler 24 ± 2 saat sonra kalıptan çıkarılıp ilk boyları ölçülür. Numuneler sonra 80 ± 2 °C'de saf suya daldırılıp, 24 ± 2 saat sonra çıkarılıp, sıfır ölçümleri alınır. Numuneler daha sonra 80 ± 2 °C sıcaklıktaki 1 Normal NaOH çözeltisine konulup periyodik (3 gün, 7 gün, 14 gün) genişme ölçümleri yapılır. Test edilecek agrega numunesi ve kesinlikle zararsız olduğu bilinen agrega numunesinin farklı karışım oranlarından elde edilmiş 5 set harç çubuğu hazırlanmalıdır. Agrega 5 mm, 2.5 mm, 1.25 mm, 0.63 mm, 0.315 mm, 0.160 mm eleklerden elenerek bu aralıklardaki malzeme kullanılmalıdır. Fakat tez çalışması kapsamında her tasarım sadece %100 olacak şekilde CEM I 42.5-R çimentosuyla beraber kullanılmış, yani zararsız bir agrega numunesi kullanılmamıştır.



Şekil 3.12. ASR numuneleri

Deney sonunda ve deney boyunca belli zamanlarda alınan boy ölçümleri (Şekil 3.13) ile numunelerin ne kadar uzadığı ve böylece ASR'ye maruz kalıp kalmadığı anlaşılır. Eşitlik 3.8'de hesaplamada kullanılan denklem görülmektedir.

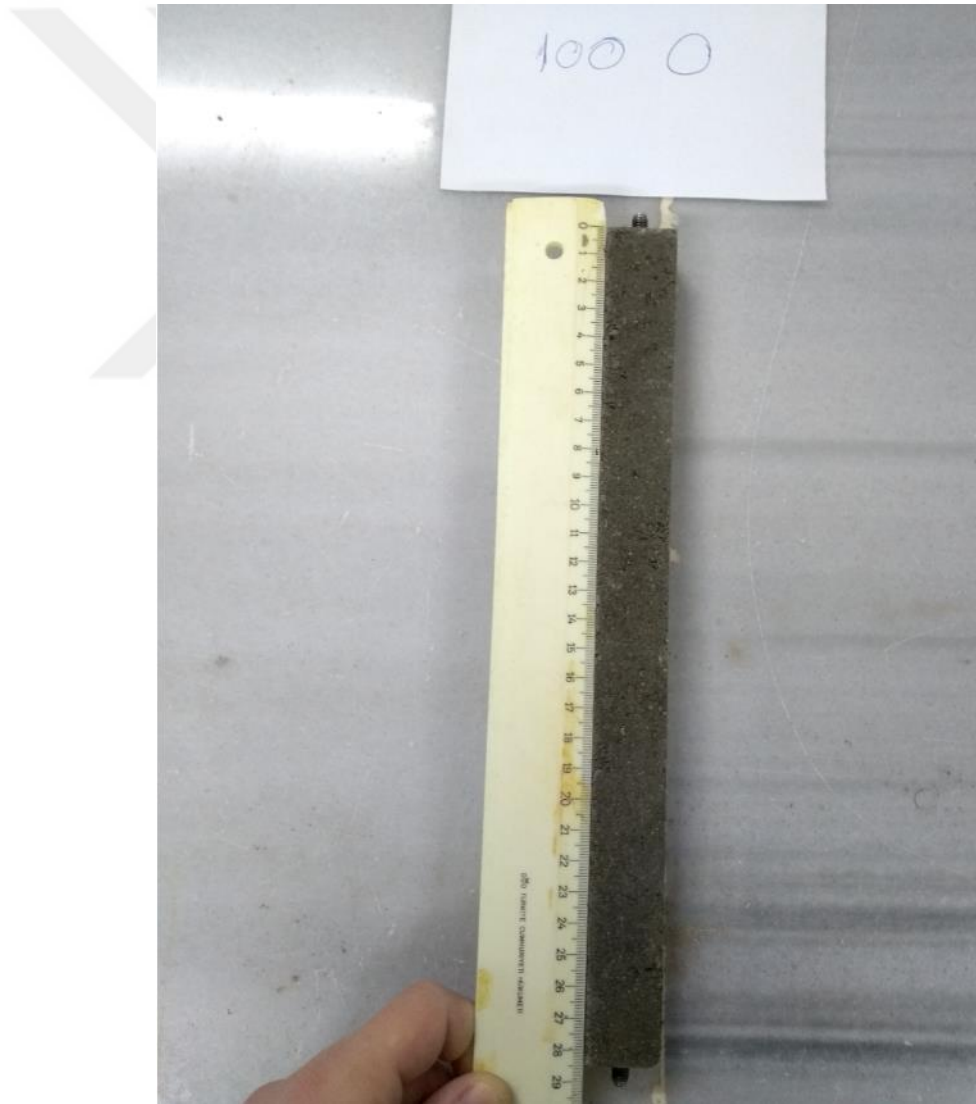
$$\text{Boy uzama oranı} = [(L_{3,7,14}) - L_0] / L_1 \quad (3.8)$$

Burada,

$L_{3,7,14}$: Sırasıyla 3, 7 ve 14 günlük numune boyları (cm)

L_0 : 80 ± 2 °C'de 24 ± 2 saat bekletildikten sonra ölçülen numune boyu (cm)

L_1 : 24 ± 2 saat suda kürde bekletilmiş numunenin boyu (cm)



Şekil 3.13. Örnek boy ölçümü

3.3. Performans Deneyleri

Modifiye Proctor deneyi ile kompaksiyon parametrelerinin belirlenmesi, bu parametreler kullanılarak ilgili standartlara uygun şekilde sıkıştırılarak hazırlanan numunelerde CBR, geçirimsizlik, esneklik modülü ve kalıcı deformasyon deneylerinin yapılması bu bölümde açıklanmıştır.

3.3.1. Modifiye Proctor deneyi ile kompaksiyon parametrelerinin belirlenmesi

23 farklı tasarımın kompaksiyon parametrelerini belirlemek için, KTŞ'ye (2013) uygun olması açısından modifiye Proctor deneyleri yapılmıştır. TS 1900-1 (2006) standardındaki yöntem uygun olarak, hacmi 2100 cm³ olan kompaksiyon kalıplarında modifiye Proctor deneyi gerçekleştirilmiştir.

Modifiye Proctor deneyi 4.5 kg kütledeki tokmağın 458 mm yükseklikten, kompaksiyon kalıbı içine gevşek olarak yerleştirilmiş zemin kütlelerine serbest düşmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.14). Bu deneyin bir aşaması, kalıp içindeki zeminin, her tabakada 56 vuruş olmak üzere toplam 5 tabaka halinde kalıbın içini tamamen doldurması ile tamamlanmış olur. Kalıp doldurulduktan sonra, kalıbın yakası çıkartılıp zemin üst yüzeyi tıraşlanarak düzlenir. Bu durumda kalıp ve yağ zemin kütlesi tartılır. Sonra kalıbın içine sıkıştırılarak yerleştirilmiş zeminden bir miktar örnek alınarak etüvde bir gün süreyle 105 ± 5°C'de kurumaya bırakılır. Bir gün sonra kuru kütle tartılarak su muhtevası değeri belirlenir. w_{opt} - γ_{kmax} değerlerinin belirlenebilmesi için bu işlem en az 4 veya 5 kere farklı su içeriklerinde karıştırılan aynı özellikteki malzemeler için tekrarlanmalı ve sonucunda w - γ_k eksen takımında kompaksiyon eğrisi çizilmelidir. Modifiye Proctor deneylerinde dikkat edilmesi gereken husus, ağır tokmak yükü altında özellikle GDBA'lı tasarımlarda tanelerin parçalanması olmaktadır. Tez çalışması kapsamında bunun önüne geçmek için, standartta da belirtildiği gibi her su muhtevasında karıştırma işlemi yapmadan önce ayrı bir tepside önceden kuru hale getirilmiş numune kullanılmıştır. Böylece farklı su muhtevaları için aynı malzemenin tek bir numunesi kullanılmamış ve tane parçalanmaları büyük ölçüde engellenmiştir.



Şekil 3.14. Kompaksiyon kalıbına malzemenin sıkıştırılarak yerleştirilmesi

Kompaksiyon deneyleri sonucunda her bir aşamadaki su muhtevasının ve kuru birim hacim ağırlıkların bulunması Eşitlik 3.9 ve Eşitlik 3.10 ile gösterilen hesaplama adımlarıyla gerçekleştirilir. Tipik bir kompaksiyon eğrisi Şekil 3.15'te görülmektedir.

$$\gamma_n = \frac{M_{\text{kalıp+yaş}} - M_{\text{kalıp}}}{V_{\text{kalıp}}} \times g \quad (3.9)$$

$$\gamma_k = \frac{\gamma_n}{1+w} \quad (3.10)$$

Burada,

γ_n : Doğal birim hacim ağırlık (kN/m^3)

γ_k : Kuru birim hacim ağırlık (kN/m^3)

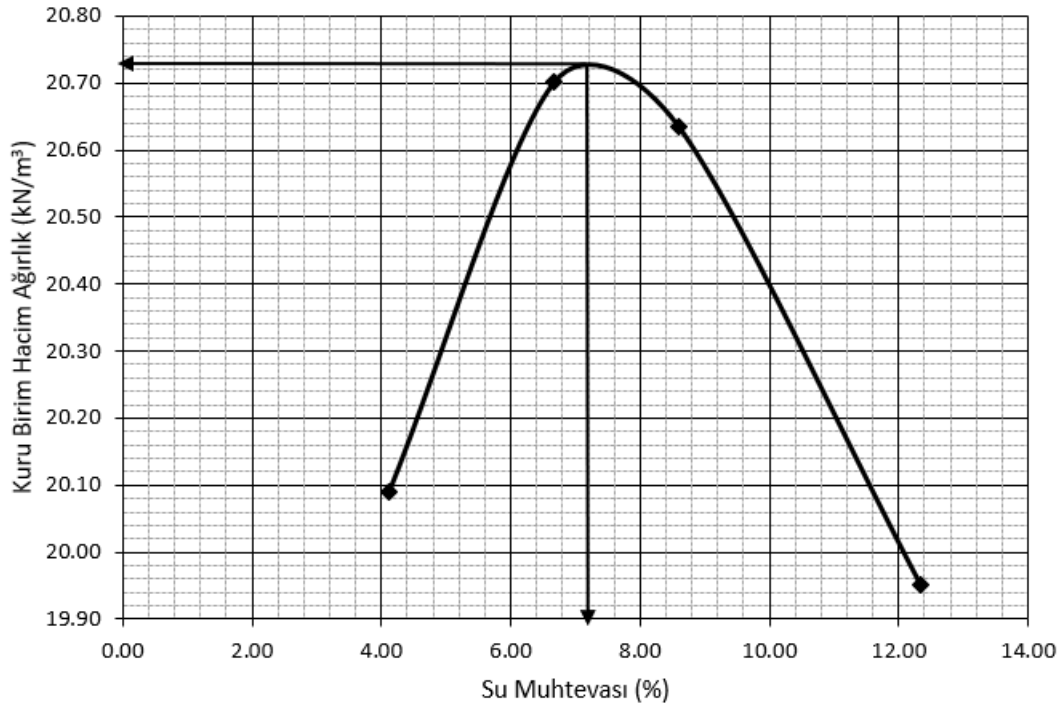
w: Su muhtevası

$M_{\text{kalıp+yaş}}$: Yaş numune ve kompaksiyon kalıplarının toplam kütlesi (gr)

$M_{\text{kalıp}}$: Kompaksiyon kalıbının kütlesi (gr)

$V_{\text{kalıp}}$: Kompaksiyon kalıbının hacmi (cm^3)

g : Yer çekim ivmesi (9.81 m/s^2)



Şekil 3.15. Tipik kompaksiyon eğrisi

3.3.2. CBR deneyleri

CBR deneyleri GYT ve GYAT malzemelerinin trafik yükü altındaki yük - deformasyon davranışını belirlemek için yapılmıştır.

23 tasarım için yaş ve kuru CBR deneyleri yapılmıştır. CBR deneyinin numuneleri modifiye Proctor deneyinin numunelerinin hazırlanması ile aynı şekilde hazırlanmıştır. Bunun için her tasarım için 6 kg kadar kuru malzeme, tasarımların modifiye Proctor deneylerinden elde edilen w_{opt} 'de CBR kalıplarına sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Deneyler sonucunda yüzde olarak hem yaş hem de kuru CBR değerleri hesaplanmıştır.

CBR deneyi TS 1900-2 (2006) standardında belirtilen yöntemle yapılmıştır. Bunun için herhangi bir yöntemle (modifiye veya standart Proctor), numune istenen enerji ve sıklığın elde edilmesi amacıyla CBR kalıbına sıkıştırılarak yerleştirilir. Bu tez kapsamında CBR kalıbına numunelerin yerleştirilmesi; yaklaşık olarak 6 kg kütlesindeki tasarım numuneleri w_{opt} 'de hazırlandıktan sonra, 4.5 kg kütlesindeki tokmağın gevşek olarak kalıba yerleştirilmiş zemin kısmına 458 mm yükseklikten 56 kere düşürülerek ve

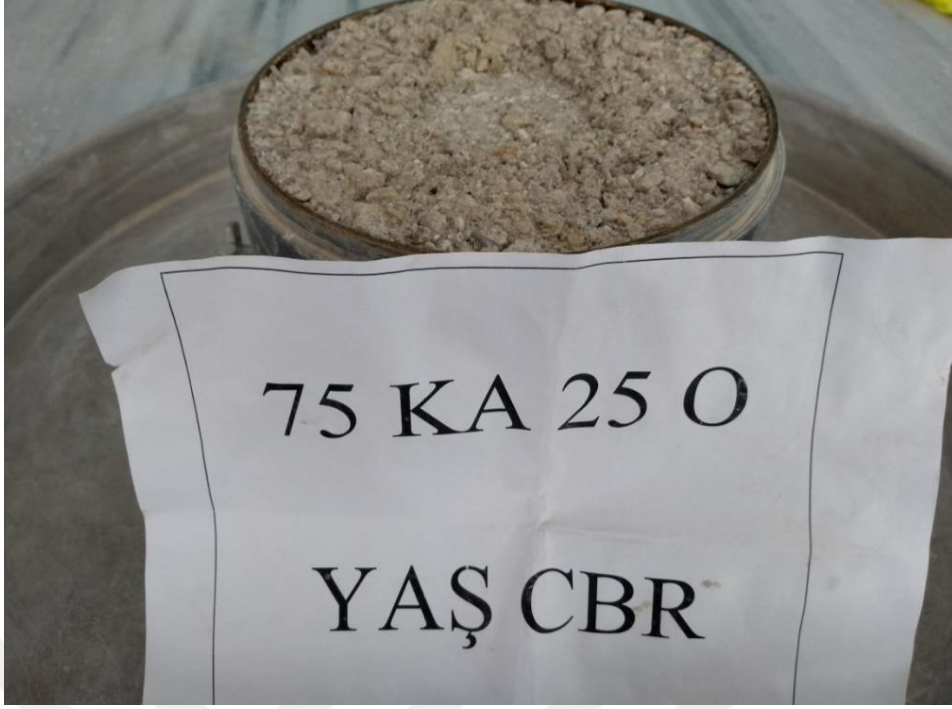
işlem 5 tabakada bitirmek üzere CBR kalıbına sıkıştırılarak yerleştirilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırma işleminden sonra üzerlerine 4.6 kg sürşarj yükü konulan CBR numunesi, kuru CBR deneyi için doğrudan CBR deney cihazına yerleştirilir. 50 mm çaplı yükleme pistonu 227 N yükle deney numunesinin üzerine oturtulduktan sonra, 1.27 mm/dk hızla numune içine itilir (Şekil 3.16). Deney sırasında belli deformasyon aralıklarında, zeminin pistonu gösterdiği tepki olan yük değerleri “kN” olarak kaydedilir. Yaş CBR deneyi, sıkıştırma işleminden sonra 4.6 kg sürşarj yüküyle beraber 4 gün suda bekletilen numunenin üzerinde yapılır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.16. CBR deneyleri, a) Yeni hazırlanmış ve üstü düzlenecek numune, b) Deney cihazında yüklemenin gerçekleştirilmesi, c) Deney sonrası numune

Sonuç olarak 2.5 mm ve 5 mm deformasyonlara karşılık gelen yük okumaları, standart kırmataş malzeme için 2.5 mm ve 5 mm deformasyonlardaki standart yük okumalarına oranlanarak, iki ayrı CBR değeri bulunur. Bu değerlerden büyük olanı malzemenin CBR değeri olarak belirlenir. Yüzde olarak verilen CBR deney sonuçları Eşitlik 3.11 ile hesaplanmaktadır.

$$\%CBR = \frac{\text{Belli deformasyon miktarında uygulanan gerilme}}{\text{Belli deformasyon miktarında standart gerilme}} \times 100 \quad (3.11)$$

3.3.3. Geçirimsizlik deneyleri

Geçirimsizlik GYT ve GYAT'nin, suyu drene edebilme yeteneği ile ilgili bir göstergedir. Drenaj özelliği ise GYT ve GYAT'de kullanılan malzemelerin tane dağılımlarına, şekillerine ve sıkıştırılmalarına bağlı olarak boşluk oranlarına göre değişmektedir. Bunun için modifiye Proctor deneyinden elde edilen w_{opt} 'de numuneler hazırlanıp, 152 mm çaplı metal kalıplara sıkıştırılarak yerleştirilen 23 farklı tasarım için düşen seviyeli ve sabit seviyeli geçirimsizlik deneyleri yapılmıştır.

ASTM D5856 (2015) standardına göre geçirimsizlik katsayısı 10^{-5} m/s değerinden büyük olan malzemelerde sabit seviyeli ve bu değerden düşük geçirimsizliğe sahip olan malzemelerde düşen seviyeli geçirimsizlik deneylerinin yapılabileceği belirtilmiştir. Buna göre bazı tasarımlarda düşen seviyeli bazı tasarımlarda sabit seviyeli geçirimsizlik deneyleri yapılmıştır.

ASTM D5856 (2015) standardına göre düşen seviyeli geçirimsizlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre yaklaşık 9 kg kütlede kuru numuneler w_{opt} 'de karıştırılıp hazırlandıktan sonra kompaksiyon çekici vasıtasıyla geçirimsizlik kalıbına sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Deney belli çaptaki bir borudan, belli yükseklikte bulunan suyun numune içinden geçirilmesi esasına dayalı olduğundan, numunelerden belli zaman aralıklarında su geçirilmesi sağlanmalıdır. Bu işlemlerden önce ise numunenin suya doygun durumda olması gerektiğinden, kararlı bir su çıkışı su çıkış borusundan görülene kadar beklenmiş ve deneye bu aşamadan sonra başlanmıştır. Şekil 3.17'de düşen seviyeli deney düzeneği ve hazırlanmış numune görülmektedir. Bu yöntemle geçirimsizlik katsayısı hesabı Eşitlik 3.12'de gösterildiği gibi yapılmaktadır.

$$k = A \times k \times \frac{a \times L}{A \times \Delta t} \times \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (3.12)$$

Burada,

k: Geçirimsizlik katsayısı (cm/s)

A: Numune kesit alanı (cm²)

Δt : Deney süresi (s)

a: Suyun geçtiği borunun kesit alanı (cm²)

h_1 : Suyun geçtiği borudaki ilk su yüksekliği (cm)

h_2 : Suyun geçtiği borudaki son su yüksekliği (cm)

L: Numuneden çıkan, iki manometre boruları arasındaki yükseklik (cm)



Şekil 3.17. Düşen seviyeli geçirimsizlik deneyi düzeneği

ASTM D2434 (2006) standardına göre sabit seviyeli geçirimsizlik deneyi, düşen seviyeli geçirimsizlik deneyi yapılması gerekmeyen tasarımlarda gerçekleştirilmiştir. Bir tasarımda düşen seviyeli mi yoksa sabit seviyeli mi geçirimsizlik deneyinin yapılacağı ise, öncelikle geçirimsizlik kalıbına sıkıştırılarak yerleştirilmiş malzemenin sabit seviyeli deney düzeneğinde iki piyezometre borusu arasında bir fark görülemeyince, yani numune boyunca yol kat eden suyun enerjisi yüksek sürtünme nedeniyle kaybolunca düşen seviyeli geçirimsizlik deney düzeneğine geçilmesi şeklinde belirlenmiştir. Sabit seviyeli geçirimsizlikte ise, ilgili standarda göre geçirimsizlik hücresine yerleştirilmiş ve sıkıştırılmış malzemenin içinden sabit bir su kaynağından gelen suyun geçirilmesi esastır. Bu durumda meydana gelen hidrolik yük farkı, geçirimsizlik hücresinin yüksekliği boyunca iki farklı yükseklikte yerleştirilmiş vanalardan çıkan suyun piyezometre borularına geçmesi ve bu borulardaki yükseklik farkının belirlenmesi şeklinde bulunur. Şekil 3.18’de sabit seviyeli geçirimsizlik deney düzeneği ve numune verilmiştir. Eşitlik 3.13 kullanılarak bu yöntemle göre geçirimsizlik hesaplanır.

$$\frac{Q}{t} = A \times k \times \frac{h}{L} \quad (3.13)$$

Burada,

Q: t kadar sürede numune içinden geçen su miktarı (cm³)

t: Deney süresi (s)

A: Numune kesit alanı (cm²)

k: Geçirimsizlik katsayısı (cm/s)

h: Borulardaki su seviyesi farkı (cm)

L: Numuneden çıkan, iki boru arasındaki mesafe (cm)

Bu denklemdeki h değerinin hesaplanması Eşitlik 3.14'te görülmektedir.

$$h = H_1 - H_2 \quad (3.14)$$

Burada

H₁: 1. Manometredeki su yüksekliği

H₂: 2. Manometredeki su yüksekliği



Şekil 3.18. Sabit seviyeli geçirimsizlik deneyi düzeneği

3.3.4. Esneklik modülü ve kalıcı deformasyon deneyleri

Bu bölümde esneklik modülü ve kalıcı deformasyon deneylerinin nasıl yapıldığı açıklanmıştır. Ayrıca numune hazırlama işlemi titreşimli kompaksiyon yöntemine göre yapıldığından, bu yöntemde kullanılacak $W_{opt} - \gamma_{kmaks}$ değerlerinin elde edilebilmesi için, modifiye Proctor deneyinde elde edilen $W_{opt} - \gamma_{kmaks}$ değerlerinden titreşimli kompaksiyon yöntemindeki $W_{opt} - \gamma_{kmaks}$ değerlerine geçilebilmesi için yapılan işlemler açıklanmıştır.

3.3.4.1. Kompaksiyon parametrelerinin düzenlenmesi

Esneklik modülü ve kalıcı deformasyon deneyleri için numuneler, AASHTO T 307-99 (2012) standardında verilen sıkıştırma yöntemlerinden olan titreşimli kompaksiyon yöntemi ile hazırlanmıştır. Modifiye Proctor yönteminde en fazla 20 mm boyutundaki taneler kullanılabilirken, bu yöntemde 40 mm boyuta kadar taneler kullanılabilir. Tez kapsamında kullanılan malzemelerin gradasyonları incelendiğinde 25 mm'ye kadar tane boyutuna sahip oldukları ve 25 - 19 mm boyutlar arasındaki tanelerin tüm kütle içinde yaklaşık olarak %25 oranında bulunduğu görülmektedir. Bu sebeple modifiye Proctor deneyi ile elde edilen kompaksiyon parametreleri, titreşimli kompaksiyon deneyi için geçerli olmamaktadır. Bu nedenle iki farklı yöntem arasındaki kompaksiyon parametreleri arasındaki geçiş ASTM D4718 (2015) standardına göre Eşitlik 3.15 ve Eşitlik 3.16 ile yapılmıştır. Çizelge 3.7'de ASTM D4718'e (2015) göre ilgili eşitlikler kullanılarak elde edilen düzenlenmiş $W_{opt} - \gamma_{kmaks}$ değerleri verilmiştir. Bu standarda göre kompaksiyon deneylerinde kullanılmayan boyutları 19 mm'den büyük taneler de hesaba katılarak, tüm malzeme için su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlık düzenlemesi yapılmaktadır. AASHTO T224 (2004) standardında Eşitlik 3.15'deki iri taneli kısımlar için (burada 19 mm'den büyük taneler) su muhtevasının %2 olarak alınabileceği belirtilmiştir. Buna göre, bu çalışma kapsamında her tasarım için iri agregalardaki su emme değerleri %2'den büyük olanlarda su emme değeri, %2'den küçük olanlarda %2 değeri kullanılmıştır. Böylece güvenli tarafta kalınmıştır. Bu standartlar aslında arazi - laboratuvar su muhtevaları ve birim hacim ağırlık düzeltmelerine imkan verdiği için, tez kapsamında 19 mm'den büyük tanelerin su içeriği elde edilememiş ve AASHTO T 224'te (2004) verilen bu kabule uyulmuştur.

$$w_{CT} = \frac{(w_F \times P_F + w_C \times P_C)}{100} \quad (3.15)$$

Burada,

w_{CT} : Tüm malzeme için düzenlenmiş su muhtevası (%)

w_F : 19 mm'den küçük agregaların su muhtevası (kompaksiyon deney sonucu ile bulunan) (%)

w_C : 19 mm'den iri tanelerin su muhtevası (su emme değerleri ile) (%)

P_F : 19 mm'den küçük agregaların kütlelerinin tüm kütleyle oranı (%)

P_C : 19 mm'den büyük agregaların kütlelerinin tüm kütleyle oranı (%)

$$\gamma_{DmaxT} = \frac{100 \times \gamma_{DmaxF} \times G_C \times \gamma_w}{\gamma_{DmaxF} \times P_C + \gamma_w \times G_C \times P_F} \quad (3.16)$$

Burada,

γ_{DmaxT} : Tüm malzeme için düzenlenmiş maksimum kuru birim hacim ağırlık (kN/m^3)

γ_{DmaxF} : 19 mm'den küçük agregaların maksimum kuru birim hacim ağırlığı (kompaksiyon deney sonucu ile bulunan) (kN/m^3)

G_C : iri taneli agregaların özgül ağırlığı

γ_w : Su birim hacim ağırlığı ($9.81 kN/m^3$)

P_F : 19 mm'den küçük agregaların kütlelerinin tüm kütleyle oranı (%)

P_C : 19 mm'den büyük agregaların kütlelerinin tüm kütleyle oranı (%)

Çizelge 3.7. a) Optimum su muhtevası düzenlemesi, b) Maksimum kuru birim hacim ağırlık düzenlemesi

(a)

Tasarım	İri Agregada Su Emme (%) (%2'den küçük olanlarda %2 alındı)	Modifiye Proctor Deneyi ile Bulunmuş Optimum Su Muhtevası (%)	Düzenlenmiş Optimum Su Muhtevası (%)
100 KA	2.00	5.35	4.51
100 DA	2.49	4.40	3.92
100 G	4.63	9.75	8.47
100 O	2.88	8.60	7.17
100 Z	3.56	9.60	8.09
75 KA 25 G	2.00	6.40	5.30
75 KA 25 O	2.00	6.20	5.15
75 KA 25 Z	2.00	6.47	5.35
50 KA 50 G	2.62	7.20	6.06

(a) (devamı)

Tasarım	İri Agregada Su Emme (%) (%2'den küçük olanlarda %2 alındı)	Modifiye Proctor Deneyi ile Bulunmuş Optimum Su Muhtevası (%)	Düzenlenmiş Optimum Su Muhtevası (%)
50 KA 50 O	2.00	6.60	5.45
50 KA 50 Z	2.10	6.60	5.47
25 KA 75 G	3.64	7.75	6.72
25 KA 75 O	2.33	7.30	6.06
25 KA 75 Z	2.82	9.20	7.60
75 DA 25 G	3.03	6.42	5.57
75 DA 25 O	2.58	6.95	5.86
75 DA 25 Z	2.76	5.40	4.74
50 DA 50 G	3.57	7.50	6.52
50 DA 50 O	2.70	7.40	6.22
50 DA 50 Z	3.03	8.35	7.02
25 DA 75 G	4.09	7.23	6.44
25 DA 75 O	2.79	7.80	6.55
25 DA 75 Z	3.29	7.10	6.15

(b)

Tasarım	İri Agregada Özgül Ağırlık	Modifiye Proctor Deneyi ile Bulunmuş Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Düzenlenmiş Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)
100 KA	2.752	21.97	23.04
100 DA	2.735	22.22	23.22
100 G	2.624	19.48	20.74
100 O	2.667	19.69	20.99
100 Z	2.692	19.70	21.04
75 KA 25 G	2.728	21.62	22.71
75 KA 25 O	2.739	21.78	22.86
75 KA 25 Z	2.745	21.64	22.76
50 KA 50 G	2.696	20.73	21.91
50 KA 50 O	2.718	21.14	22.29
50 KA 50 Z	2.730	21.26	22.42
25 KA 75 G	2.664	20.38	21.57
25 KA 75 O	2.696	20.58	21.79
25 KA 75 Z	2.715	20.24	21.53
75 DA 25 G	2.715	21.76	22.80
75 DA 25 O	2.726	21.49	22.60
75 DA 25 Z	2.732	21.71	22.79
50 DA 50 G	2.688	20.99	22.12
50 DA 50 O	2.709	21.33	22.44
50 DA 50 Z	2.722	20.96	22.15
25 DA 75 G	2.660	20.42	21.59
25 DA 75 O	2.692	20.64	21.83
25 DA 75 Z	2.711	20.52	21.76

3.3.4.2. Esneklik modülü ve kalıcı deformasyon deneylerinin yapılması

Esneklik modülü (M_r) yol üst yapı katmanlarından hem GYT ve GYAT’de hem de asfalt kaplamada, bu tabakaların kalınlıklarının hesaplanması aşamalarında girdi değeri olarak kullanılmaktadır.

Esneklik modülü Eşitlik 3.17’deki gibi belirlenebilmektedir. Buna göre esneklik modülü tekrarlı yükler altında, deviatör gerilmenin geri dönebilen (elastik) deformasyona oranıdır. Esneklik modülünün elastisite modülünden farkı burada ortaya çıkmaktadır; çünkü esneklik modülü dinamik yükleme altında malzemenin mekanik bir özelliği iken, elastisite modülü statik yükleme altındaki bir mekanik özelliktir. Esneklik modülü CBR gibi laboratuvar deneylerinden ampirik bağıntılar yardımıyla dolaylı olarak hesaplanabilmektedir; fakat en doğru yöntem bu modülün TYÜEBD ile belirlenmesidir. TYÜEBD’nin en büyük artışı, bu deneyde numuneler dinamik yüklemeye maruz kaldığından yol katmanlarına uygulanan trafik yüklerinin etkisini doğru bir şekilde temsil edebilmesidir. Esneklik modülü deneyinde elde edilen deformasyonlar ve TYÜEBD deney teorisi sırasıyla Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de gösterilmiştir.

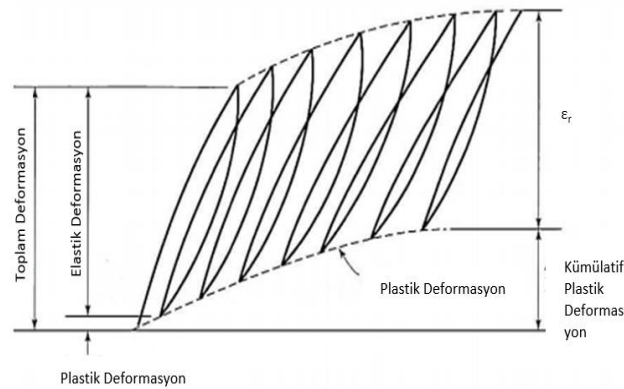
$$M_r = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r} \quad (3.17)$$

Burada,

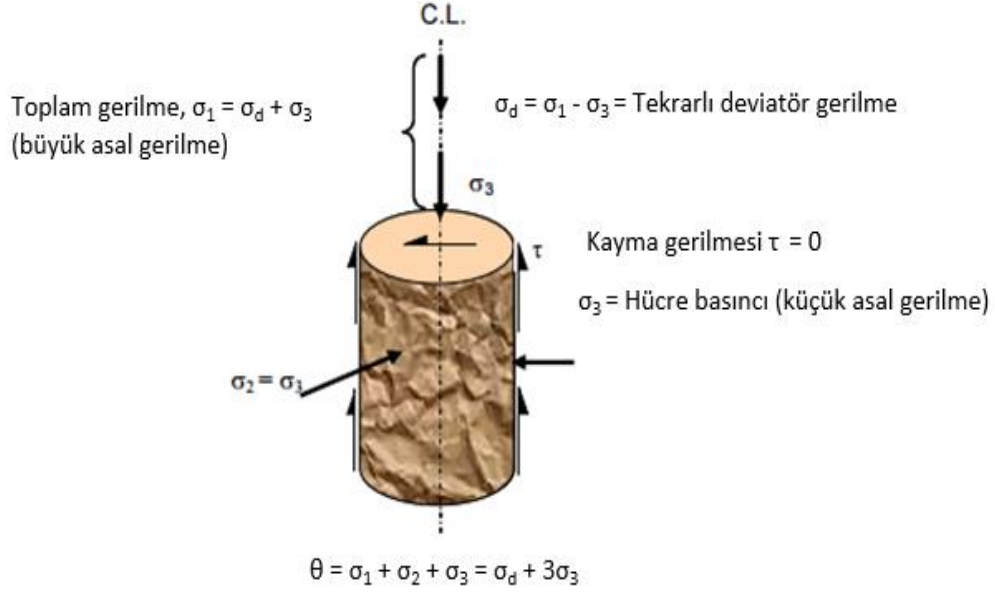
M_r : Esneklik modülü (kPa)

σ_d : Deviatör gerilme (kPa)

ϵ_r : Elastik (geri dönebilen) deformasyon



Şekil 3.19. TYÜEBD’de elde edilen deformasyonlar (Huang, 2004)



Şekil 3.20. TYÜEBD’de gerilme durumları

Bu tez çalışması kapsamında tüm tasarımların esneklik modüllerinin belirlenebilmesi için AASHTO T307-99 (2012) standardında açıklanan yöntemle göre Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Toprak ve Stabilizasyon laboratuvarlarında TYÜEBD yapılmıştır. Deney, hem malzemenin deneye hazır hale getirilmesi hem de yükleme aşamasının gerçekleştirilmesi bakımından karmaşık ve zaman alan bir deneydir. AASHTO T307-99’a (2012) göre bu deneyde kullanılacak malzeme Tip 1 ve Tip 2 olmak üzere iki farklı sınıfa ayrılır. Tez çalışması kapsamında kullanılacak malzemeler Tip 1 şartlarını sağladığından 152 mm çapında ve 305 mm boyunda numuneler oluşturmak için buna uygun, boyuna doğrultuda ikiye ayrılabilen metal kalıp kullanılarak malzemelerin sıkıştırılması gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırma işlemi titreşimli kompaksiyon ile yapılmıştır. Bu işlem, toplamda 305 mm yüksekliğe sahip olacak şekilde 6 tabaka halinde istenen su muhtevasında karıştırılarak hazırlanan malzemenin metal kalıba sıkıştırılarak yerleştirilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Tez çalışması için, Çizelge 3.7’deki düzenlenmiş w_{opt} ’de sıkıştırılan malzemenin dinamik yükler altındaki davranışı incelenmek istendiğinden karıştırma ve sıkıştırma işlemi düzenlenmiş w_{opt} ’de hazırlanmış numunelerde gerçekleştirilmiştir. Bu sıkıştırma işlemi öncesinde, malzemenin kalıptan çıkarıldıktan sonra dağılmadan yükleme hücresine yerleştirilebilmesi için kalıp iç yüzeyine membran yerleştirilir. Sıkıştırma işleminden sonra kalıptan çıkarılan malzeme büyük bir titizlikle yükleme hücresine yerleştirilir. Bu deney için hem pnömatik hem de hidrolik yükleme düzeneği kullanılabilir. KGM

laboratuvarlarında bu işlem pnömatik yükleme düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Yüklemeden önce yükleme hücresine yerleştirilen numunenin üst yüzeyine düşey deformasyonları ölçmek amacıyla iki tane doğrusal değişken diferansiyel transdüser (LVDT) konulur ve deney boyunca bu LVDT'lerin kaydettiği deformasyonlar kaydedilir. Deformasyonların ortalaması hesaplarda kullanılır. LVDT'ler numunelerin üst kısmında uygun bir şekilde yerlerine konulduktan sonra hücre basıncı verilir. Hücre basıncı hava basıncıyla sağlanır. Şekil 3.21'de esneklik modülü deneyi için numune hazırlanması ve numunenin deneye hazır hale getirilmesi gösterilmiştir. Yükleme aşaması ilk başta 500-1000 çevrim olacak şekilde bir ön koşullandırmayla başlar. Ön koşullandırma, yükleme başlığının malzeme üst yüzeyine boşluk kalmayacak şekilde oturmasına emin olmak amacıyla yapılır. Bu çalışma kapsamında ön koşullandırma 1000 çevrim olarak uygulanmıştır. Ön koşullandırma bittiğinde toplam kalıcı deformasyonlar %5'i geçmemişse 15 farklı adımdan oluşan deney aşamasına geçilir. Her adımda numuneye uygulanan deviatör gerilme ve hücre basıncı farklılık göstermekte olup, Çizelge 3.8'de bu yükleme adımları verilmiştir. Her adım 1000 çevrimden oluşur. Her çevrimde numuneye 0.1 saniye yükleme ve 0.9 saniye boşaltma uygulanarak yükleme çevrimleri tamamlanmıştır. Bu yükleme çevrim şekli Haversine şeklindedir ve Şekil 3.22'de Haversine yükleme mekanizması gösterilmiştir. Esneklik modülü, her adımın son 5 çevriminin esneklik modülünün ortalaması alınarak hesaplanır. Sonunda toplam gerilmeye bağlı olarak esneklik modüllerinin değişimi grafiklenir (Şekil 3.23) ve AASHTO T 307-99'da (2012) verilen Eşitlik 3.18'e göre esneklik modülü için bir denklem oluşturulur.



(a)



(b)



(c)

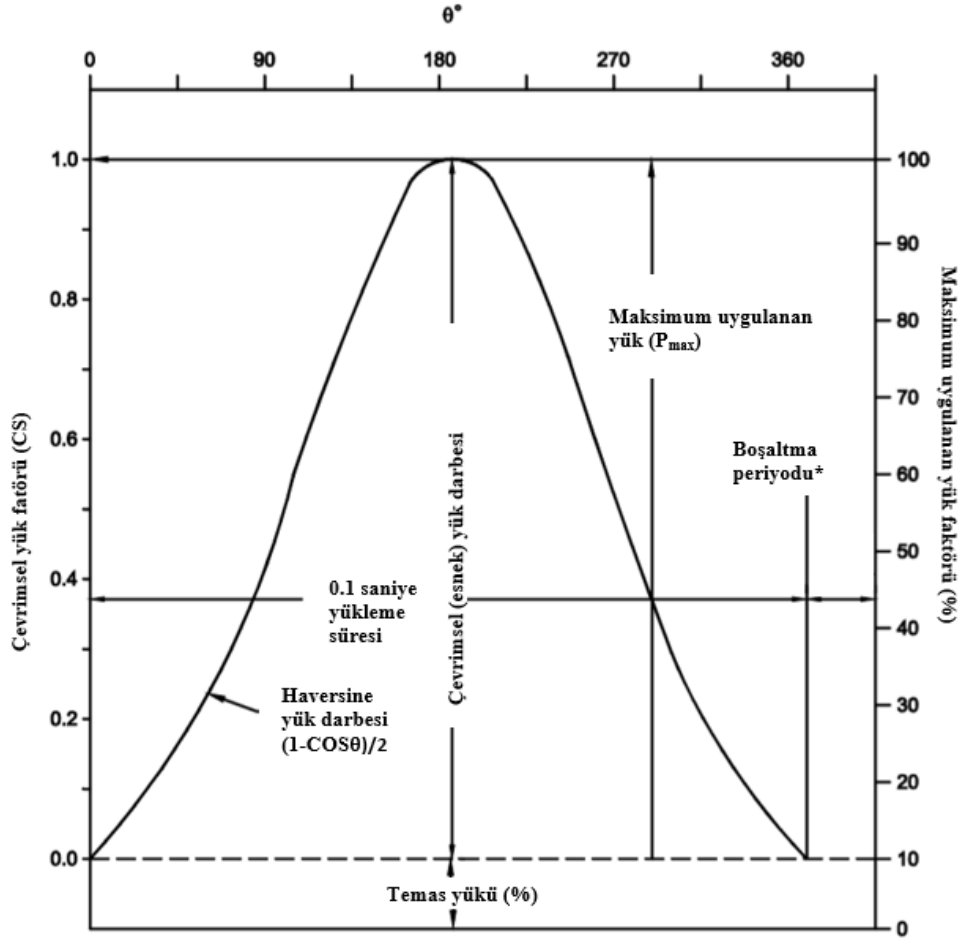


(d)

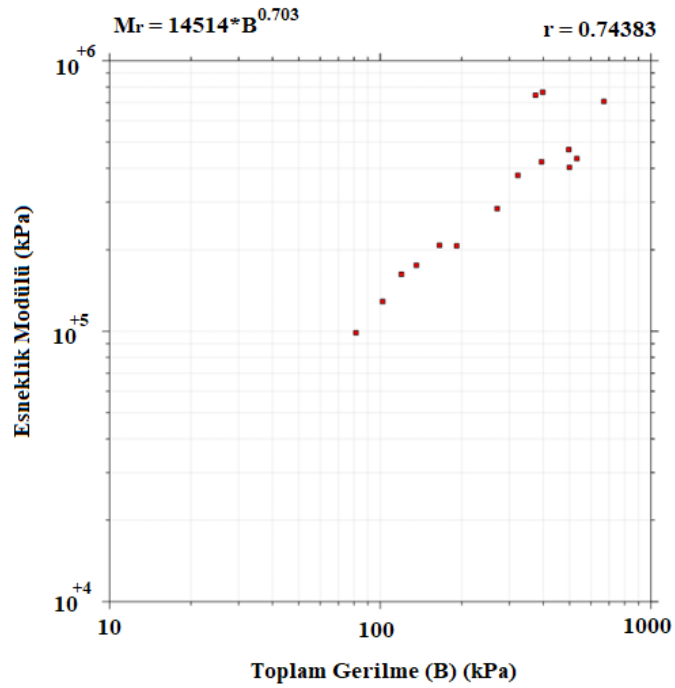
Şekil 3.21. TYÜEBD hazırlık ve deney aşamaları, **a)** Malzemenin hazırlanması, **b)** Titreşimli kompaksiyon ile sıkıştırma, **c)** Numunenin TYÜEBD hücresine yerleştirilme aşaması, **d)** Deney düzeneği ve deney aşaması

Çizelge 3.8. TYÜEBD yükleme çevrimleri ve gerilmeler (AASHTO T307-99, 2012)

Adım Numarası	Hücre Basıncı (σ_3) (kPa)	Maksimum Eksenel Gerilme (σ_d) (kPa)	Çevrimsel Gerilme (kPa)	Sabit Gerilme ($0.1 \times \sigma_d$) (kPa)	Çevrim Sayısı
0	103.4	103.4	93.1	10.3	500 - 1000
1	20.7	20.7	18.6	2.1	100
2	20.7	41.4	37.3	4.1	100
3	20.7	62.1	55.9	6.2	100
4	34.5	34.5	31	3.5	100
5	34.5	68.9	62	6.9	100
6	34.5	103.4	93.1	10.3	100
7	68.9	68.9	62	6.9	100
8	68.9	137.9	124.1	13.8	100
9	68.9	206.8	186.1	20.7	100
10	103.4	68.9	62	6.9	100
11	103.4	103.4	93.1	10.3	100
12	103.4	206.8	186.1	20.7	100
13	137.9	103.4	93.1	10.3	100
14	137.9	137.9	124.1	13.8	100
15	137.9	275.8	248.2	27.6	100



Şekil 3.22. Haversine yükleme şekli (AASHTO T307-99, 2012)



Şekil 3.23. Örnek TYÜEBD sonucu

$$M_r = k_1 \times (\theta)^{k_2} \quad (3.18)$$

Burada,

M_r : Esneklik modülü (kPa)

k_1 ve k_2 : Regresyon katsayıları

θ : Toplam gerilme ($\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$) (kPa)

AASHTO T307-99'da (2012) verilen yukarıdaki eşitliğe göre oluşturulan model formülü kullanılıp, trafik yoğunluğuna ve yüküne bağlı olarak herhangi bir gerilme altında esneklik modülü hesaplanabilmektedir. Fakat GYT ve GYAT malzemelerinin esneklik modülü davranışları için Eşitlik 3.18'de verilmiş olan AASHTO (1993) yol tasarım yöntemindeki model uygun olmayabilmektedir. Bunun için bazı araştırmacılar farklı bağımsız değişkenler kullanarak AASHTO modelinden farklı modeller elde etmişlerdir. Bu tez çalışması kapsamında Eşitlik 3.19'da verilen Uzan (1985) ve Eşitlik 3.20'deki NCHRP 1-37A (2004) raporunda verilen Mekanistik-Ampirik Kaplama Tasarım Yöntemi (MEPDG) modellerinin, TYÜEBD sonuçlarına uygunluğu da araştırılmıştır. MEPDG'nin AASHTO (1993) tasarım yönteminden farkı bu tasarım yönteminde malzemelerin mekanik özelliklerinin ampirik eşitliklere bağlı kalmadan doğrudan yol tasarımında kullanılabilmesine imkan vermesidir. AASHTO modelinin sadece toplam gerilmeye göre kurulmuş olması bu modelin hücre basıncı ile deviatör gerilmenin ayrı ayrı değişimlerini ayırt edememesine neden olmaktadır. Uzan (1985) ve MEPDG modellerinde bu ayırım yapılabildiğinden, malzemelerin esneklik modülü davranışlarının arazideki durumları bu modellerle daha iyi temsil edilebilmektedir.

$$\frac{M_r}{\sigma_{atm}} = k_1 \times \left(\frac{\theta}{\sigma_{atm}}\right)^{k_2} \times \left(\frac{\sigma_d}{\sigma_{atm}}\right)^{k_3} \quad (3.19)$$

$$\frac{M_r}{\sigma_{atm}} = k_1 \times \left(\frac{\theta}{\sigma_{atm}}\right)^{k_2} \times \left(\frac{\tau_{oct}}{\sigma_{atm}} + 1\right)^{k_3} \quad (3.20)$$

Burada,

k_1 , k_2 ve k_3 : Regresyon katsayıları

σ_{atm} : Atmosfer basıncı (101.3 kPa)

σ_d : Deviatör gerilme (kPa)

τ_{oct} : Oktahedral gerilme

Kalıcı deformasyon deneyi ise esneklik modülü deneyi için kullanılan AASHTO T307-99 (2012) standardına göre gerçekleştirilmiştir. Bunun için yalnızca esneklik modülü deneyinin 15. adımındaki hücre basıncı ve deviatör gerilme kullanılmış; fakat bu 16. adım 10000 çevrim olarak devam ettirilmiştir. Sonuç olarak 23 tasarım için toplam kalıcı deformasyonlar 12500 çevrimden oluşan toplam 16 adım için bulunmuştur. Kalıcı deformasyonlar Tutumluer ve Pan (2008) tarafından önerilen Eşitlik 3.21'e bağlı olarak modellenmektedir. Deneyler sonucunda elde edilen kalıcı deformasyonlar bu eşitlik kullanılarak modellenmiştir.

$$\varepsilon_p = \alpha \times N^b \quad (3.21)$$

Burada,

ε_p : Eklenik kalıcı deformasyonlar

α ve b : regresyon katsayıları

N : Yükleme çevrimi sayısı

3.4. Görüntü Analizi

Agrega ve performans deneyleri yapılan malzemelerin, bu özellikleriyle tane şekli, pürüzlülüğü ve köşeliliği arasındaki ilişki görüntü analiz yöntemlerinden olan fraktal boyutlar ile araştırılmıştır. SEM analizi ile 1, 7 ve 28 gün kür edilen sıkıştırılmış numunelerin görüntüleri alınarak ikincil çimentolanmanın gerçekleşip gerçekleşmediği belirlenmiştir. Bu analizlerin gerçekleştirilme aşamaları bu bölümde açıklanmıştır.

3.4.1. Fraktal boyut ile görüntü analizi

Görüntü işleme tekniklerinden biri olan fraktal boyut analizi ile malzemelerin köşelilik ve pürüzlülük gibi tane şekil özelliklerinin mekanik ve geçirimsizlik özelliklerine etkisi 5 farklı malzeme için araştırılmıştır. Fraktallar, nesnelerin şekillerini tam sayılarla ve düzgün, doğrusal geometrik terimlerle ifade etmek yerine genellikle düzensiz şekilli olanlar için köşelilik ve pürüzlülüğü esas alarak rasyonel şekilde ifade etmeye yarayan matematiksel sayılardır. Hyslip ve Vallejo (1997) granüler malzemelerin pürüzlülüğünü araştırmış; bölücü ve alan - çevre metotlarını kullanarak buldukları fraktal boyutların köşeliliği karakterize etmede kullanılabileceğini belirlemişlerdir. Akbulut (2002) kum

tanelerinin köşeliliği ve pürüzlülüğünün alan - çevre metoduyla hesaplanan fraktal boyut değerleriyle ilişkisini araştırmış ve köşeliliğin fraktal boyutlarla yakından ilgili olduğunu belirlemiştir. Vallejo ve Chik (2010) çakıl boyutundaki tanelerin aşınma deneyinden önceki ve sonraki durumda tanelerin köşelilik ve pürüzlülüğünü belirlemek için fraktal boyutlarını hesaplamışlar, buldukları fraktal boyut değerlerinin azaldığını dolayısıyla aşınma deneyi sonrasında tanelerin yuvarlaklaşma eğiliminde olduklarını belirlemiştir. Köşelilik ve pürüzlülük gibi tane şekil özellikleri, taneler arasında sürtünme ve kenetlenme mekanizmalarına etki etmektedir. Sürtünme ve kenetlenme zeminlerin taşıma gücü açısından incelendiğinde, tanelerin birbirine temasını ve bu temas sayesinde üzerine uygulanan yükü aktarma kabiliyetini etkileyebilmektedir. Bu nedenle tez çalışması kapsamında kullanılan malzemelerin fraktal boyutlarıyla, dolayısıyla pürüzlülük ve köşelilik özellikleriyle, mekanik ve hidrolik özellikleri arasında bir bağlantının olup olmadığı araştırılmıştır. Fraktal boyut farklı yöntemlerle hesaplanabilmekle birlikte bu çalışma kapsamında alan - çevre metodu kullanılarak MATLAB programı aracılığıyla hesaplanmıştır.

Alan - çevre yöntemine göre fraktal boyut belirlemek için 25 - 20, 20 - 14, 14 - 10, 10 - 4.75, 4.75 - 2, 2 - 1.18 mm aralıklarındaki tane fraksiyonlarından yaklaşık 25'er tane seçilmiş ve seçilen tanelerin yüksek çözünürlüklü fotoğraf makinesiyle görüntüleri alınmıştır. Alınan görüntüler MATLAB programında Şekil 3.24'te verilmiş olan kod aracılığıyla işlenmiştir. İşlenmiş görüntüde fraktal boyut hesaplanmıştır. Bu işlem basitçe şu aşamalardan oluşmaktadır:

- Fotoğraf makinesiyle elde edilmiş görüntüde siyah - beyaz eşikleme yapılmıştır.
- Eşiklenmiş görüntüde beyaz halde sınırları net olarak görünür hale gelmiş tanenin alan ve çevresi hesaplanmıştır.
- Her tanenin alan ve çevre değerleri bulunarak, logaritmik ölçekte grafiklenmiştir. Bu aşamada her tanenin alan değerleri düşey eksen ve çevre değerleri yatay eksen olacak şekilde logaritmik ölçekte bir grafik oluşturulmuştur.

Bütün elek aralıklarındaki fraksiyonlarda bulunan alan - çevre değerleri tek bir grafikte birleştirilmiş ve lineer bir ilişki kurulmuştur. Eşitlik 3.22'de gösterilen ilişkide "2 / eğim" değeri, o malzemenin fraktal boyutu (D_f) olmaktadır.

$$\text{Log}(\text{Çevre}) = a + \frac{D_f}{2} \times \text{Log}(\text{Alan}) \quad (3.22)$$

```

1 - tic
2 - clc
3 - clear all;
4
5 - foto = imread('DA 10-14.jpg');
6
7 - imshow(foto)
8 - foto = rgb2gray(foto);
9
10 - imshow(foto)
11
12 - level = graythresh(foto);
13 - BW = imbinarize(foto,level);
14
15 - imshow(BW)
16 - foto = imfill(BW, 'holes');
17
18 - imshow(foto)
19
20 - sayi = inputdlg('Tab sayısını gir:', 'Sample', [1 50]);
21 - kitle_sayisi = str2num(sayi{:});
22
23 - for i=1:kitle_sayisi
24
25 -     tas{i} = regiongrowing(foto);
26 -     imshow(tas{i})
27 -     alan(i) = bwarea(tas{i});
28 -     P = regionprops(tas{i}, 'perimeter');
29 -     cevre(i) = P.Perimeter;
30 -     close all

```

Şekil 3.24. Fraktal boyutların hesaplanmasında kullanılan MATLAB kodu

3.4.2. SEM görüntü analizi

Tez kapsamında GYT ve GYAT’de kullanılabilirliği incelenen 5 farklı malzemenin SEM analizi ile görüntü analizleri yapılmıştır. SEM analizi belli kür süreleri sonunda özellikle GDBA’larda ikincil çimentolanma reaksiyonlarının meydana gelip gelmediğinin kontrolü için yapılmıştır. İkincil çimentolanmanın en büyük nedeni GDBA’larda mevcut yapışık harç olmaktadır. İkincil çimentolanma reaksiyonlarının varlığı, GDBA’lı numunelerin tanecikler arasındaki bağlanma miktarını artırabilmektedir. Bu bağlanma artışı uzun dönemde GDBA’lı numunelerin esneklik modülü, CBR vb. mekanik özelliklerinde iyileşme meydana getirebilmekte ve geçirimsizliği azaltabilmektedir. Tez çalışması kapsamında GDBA’lar için uzun dönem esneklik modülü, CBR ve geçirimsizlik özellikleri deneylerle araştırılmamıştır; fakat bu GDBA’ların SEM analizleri ile uzun dönemde ikincil çimentolanma reaksiyonları verebilme kabiliyetinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Esneklik modülü, CBR ve geçirimsizlik deneylerinin numuneleri modifiye Proctor deneyindeki sıkıştırma enerjisi ile hazırlandığı için, W_{opt} - γ_{kmaks} değerlerinde sıkıştırılarak hazırlanmış numuneler 1, 7 ve 28 gün boyunca su muhtevalarını kaybetmeyecek şekilde kür edilmişler ve kür süresi sonunda etüvde kurumaya bırakılmışlardır. Etüvden kuru

halde çıkarılan numunelerden en büyük boyutu 1 cm olacak şekilde numune parçaları alınıp, bu parçalar altınla kaplandıktan sonra Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma Uygulama Merkezi'ndeki (İLTEK) malzeme laboratuvarında bulunan SEM cihazı ile görüntüler alınmıştır (Şekil 3.25). SEM'de görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. 500 - 10000 arasında farklı oranlarda büyütme ile elde edilen görüntülerde ikincil çimentolanma reaksiyonlarının varlığı araştırılmıştır.



Şekil 3.25. SEM analizlerinin gerçekleştirildiği cihaz (İLTEK)

3.5. Kalınlık Hesabı

Laboratuvar deneyleri yapıp, deney sonuçları değerlendirildikten sonra KTŞ'deki (2013) GYT malzemesinin sağlaması gereken özelliklere göre belirlenen en uygun 3 farklı örnek (100 O, 100 KA ve 50 KA + 50 O tasarımları) için esnek üstyapı yol kalınlık tasarımı yapılmıştır. Buradaki amaç laboratuvar deneyleriyle belirlenen fiziksel ve mekanik özelliklerin yol tasarımında etkisini araştırmaktır.

Yol tasarımı yapılırken AASHTO (1993) ve Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi (2008) (KEÜPR) yöntemleri takip edilmiştir. KEÜPR KGM tarafından AASHTO (1993) yöntemine uygun şekilde hazırlanmasına rağmen bu

rehberde Türkiye'ye özgü bazı değerler, kabuller ve tablolara yer verilmiş olduğundan örnek tasarımda bu iki prosedür birlikte dikkate alınmıştır.

Kalınlık hesabı genel olarak; proje verilerinin belirlenmesi, 8.2 tona denk gelen eşdeğer dingil yükü tekerrür sayısının bulunması ($T_{8.2}$), üst yapı sayısının (SN) hesabı ve $T_{8.2}$ 'ye göre seçilen tabaka kalınlıklarının kontrolünden oluşmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında esnek üstyapı kalınlık hesabı KEÜPR (2008) dikkate alınarak aşağıdaki gibi yapılmıştır:

- Proje verilerinin belirlenmesi:** Yol 2 yönde 2 şeritli olmak üzere toplam 4 şeritli bir il yolu olarak belirlenmiştir. Proje süresi 20 yıl olarak hesaplarda kullanılmıştır. 4 şeritli yol için şerit dağıtma faktörü (η) Çizelge 3.9'dan 0.9 olarak seçilmiştir. İlk servis kabiliyetinin (p_i) Türkiye için önerilen değeri 4.2 ve son servis kabiliyeti değeri (p_t) Çizelge 3.10'dan il yolları için 2.0 olarak belirlenmiştir. Güvenilirlik değeri (R) Çizelge 3.11'den il yolları için %70 (hesaplamalarda 0.7 olarak kullanılacak) ve R'ye bağlı olarak standart normal sapma (Z_R) -0.524 olarak seçilmiştir. Esnek üst yapılar için toplam standart sapma (S_0) önerilen değer olarak 0.45 alınmıştır. Drenaj katsayıları (m_i) kaplama tabakası için ihmal edilmekle birlikte diğer tabakalar için Türkiye'de önerilen değer olan 1.0 olarak seçilmiştir.

Çizelge 3.9. Şerit dağıtma faktörü (KEÜPR, 2008)

İki Yöndeki Şerit Sayısı	Şerit Dağıtma Faktörü (η)
2	1.0
4	0.9
6 veya daha fazla	0.8

Çizelge 3.10. Yol sınıflarına göre son servis kabiliyetleri (KEÜPR, 2008)

Yol Sınıfı	p_t
Otoyollar, Devlet Yolları	2.5
İl Yolları	2.0

Çizelge 3.11. Yol sınıflarına göre güvenilirlik ve standart normal sapma değerleri (KEÜPR, 2008)

Yolun Sınıfı	Şartname Güvenilirlik Değeri (R) (%)	Standart Normal Sapma (Z_R)
Otoyollar	95	-1.645
Devlet Yolu	85	-1.037
İl Yolu	70	-0.524

- $T_{8.2}$ değerinin hesaplanması (trafik analizleri):** Trafik analizlerinin yapılması için proje süresince yolun yapılacağı bölgedeki tüm taşıtların eşdeğer dingil yüklerinin

hesaplanıp, $T_{8.2}$ değerinin bulunması gerekmektedir. Bu amaçla ilk başta yoldaki trafik sayısı belirlenmelidir. KGM tarafından yayınlanmış Otoyollar ve Devlet Yollarının Trafik Dilimlerine Göre Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri ve Ulaşım Bilgileri'nde (KGM, 2018) verilmiş olan her taşıt türü için yıllık ortalama günlük trafik (t_0) değerleri, Konya - Aksaray yolu üzerinde kontrol kesim noktası numarası 300-13 ve dilim numarası 1 olan yol kesiminin trafik değerlerinden elde edilmiştir. Bu taşıt türleri otomobil, orta yüklü ticari taşıt, otobüs, kamyon ve treyler olmak üzere 5 farklı sınıfa ayrılmaktadır. Bulunan t_0 değerleri mevcut trafik değerleri olduğundan, proje süresi olan 20 yıl boyunca artacak trafiğin de hesaplanıp, bu 20 yıl boyunca yoldan geçecek taşıt sayısının belirlenmesi, dolayısıyla trafik sayısının artış oranının bilinmesi gerekmektedir. Taşıt sayısının artışını temsil eden trafik artış katsayısı (r) bütün taşıt türleri için %4 olarak belirlenmiştir. Bundan sonra bir dizi hesaplama yapılarak $T_{8.2}$ değeri bulunmuştur. Hesaplama şu şekilde yapılmaktadır ve tez çalışması kapsamında bu yöntem takip edilmiştir:

- 20 yıllık proje süresince yoldan geçecek trafik sayısı (t_t) bütün taşıt türleri için ayrı ayrı Eşitlik 3.23 ile hesaplanır:

$$t_t = t_0 \times (1 + r)^t \quad (3.23)$$

- Her taşıt türü için proje trafiği (t_p) Eşitlik 3.24 ile hesaplanır:

$$t_p = 0.4343 \times \frac{t_t - t_0}{\log \frac{t_t}{t_0}} \quad (3.24)$$

- Eşitlik 3.25 ile proje süresi boyunca yoldan geçecek toplam trafik (T_p) hesaplanır:

$$T_p = t_p \times 365 \times t \quad (3.25)$$

- Çizelge 3.12'den her taşıt türü için seçilen taşıt eşdeğerlik faktörü (TEF) kullanılarak tek yön için (trafik yönü, $i = 2$) $T_{8.2}$ değeri Eşitlik 3.26 ile hesaplanır:

$$T_{8.2} = T_p \times \text{TEF} \times \eta / i \quad (3.26)$$

Çizelge 3.12. Taşıt gruplarının eşdeğerlik faktörleri (KEÜPR, 2008)

Taşıt Grubu	Taşıt Eşdeğerlik Faktörleri
Treyler	4.10
Kamyon	2.90
Otobüs	3.20
Orta Yüklü Ticari Taşıt	0.60
Otomobil	0.0006

3. **SN değerinin hesaplanması:** SN değeri esnek üst yapı tabakalarının kalınlıklarının hesaplanmasında kullanılan, bu tabakalardaki malzemelerin özelliklerine ve trafik özelliklerine göre belirlenen bir sayıdır. SN sayısı esneklik modülü de dahil olmak üzere 1. aşamada seçilmiş olan proje verilerine göre hesaplanmaktadır. Bu nedenle tüm tasarımlar için taban zemininin esneklik modülü 50 MPa olarak seçilmiştir. SN değeri bir önceki kısımda hesaplanan $T_{8.2}$ değerine bağlı olarak Eşitlik 3.27 ile hesaplanır.

$$\text{Log}(T_{8.2}) = Z_{RX}S_0 + 9.36 \times \text{Log}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{1094}\right)}{0.4 + \frac{4.2-1.5}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \text{Log}(M_T) - 8.07 \quad (3.27)$$

4. **Kalınlık kontrolü:** SN değerlerinin tabaka kalınlıklarına dönüştürülebilmesi için ise her tabakada kullanılan malzemelerin m_i değerleri ve tabaka katsayıları (a_i) bilinmelidir. AASHTO (1993) yönteminde a_i değerlerinin belirlenebilmesine yönelik abak ve formüller verilmiştir. Abaklardan CBR ve esneklik modülü değerlerine bağlı olarak her tabaka için a_i değerleri bulunabilir. KEÜPR'de (2008) her tabaka için kullanılacak a_i değerleri verilmiştir. Çizelge 3.13'te verilen a_i katsayılarından asfalt betonu aşınma, binder ve bitümlü temel için verilmiş olan a_i katsayıları bu çizelgeden seçilmiştir. GYT tabakası için ise sırasıyla 100 KA, 100 O ve 50 KA + 50 O'nun esneklik modülü değerleri olan 252.813 MPa, 261.353 MPa, 274.033 MPa, kullanılarak, Eşitlik 3.28 ile GYT tabaka katsayısı (a_2) hesaplanmıştır. Burada esneklik modülü değerleri 208 kPa toplam gerilme ve 48 kPa τ_{oct} için hesaplanmıştır. Bu değerlerin GYT'ler için esneklik modülü hesaplanırken kullanılması NCHRP 1-28a'da (Witczak, 2004) önerilmektedir. GYAT tabaka katsayısı olan a_3 hesaplanmamıştır; çünkü tez çalışması kapsamında tasarlanan yolda alttemel kullanılması düşünülmemiştir, bunun yerine gerekirse temel tabakasının arttırılması göz önüne alınmıştır. Yol kesitinin en üstten en alta doğru asfalt betonu aşınma, asfalt

betonu binder, bitümlü temel ve GYT olmak üzere 4 tabakadan oluşacağı dikkate alınmıştır. Bu katsayılar belirlendikten sonra Çizelge 3.14'te verilen $T_{8.2}$ değerlerine göre başlangıç tabaka kalınlıkları (D_i) seçilmiştir. Bu başlangıç tabaka kalınlıkları temel alınarak Eşitlik 3.29'a göre başlangıç SN değeri hesaplanır. Alttemel tabakası bu aşamada hesaba katılmaz, Şekil 3.26'da verilen SN doğrulama adımları takip edilerek her tabaka için seçilen kalınlık değerlerinin yeterliliği ve alttemel oluşturulmasının gerekliliği incelenir. Bu durumda eğer alttemel tabakası gerekliliği ortaya çıkarsa temel tabakasının kalınlığı arttırılmıştır.

Çizelge 3.13. Esnek üstyapı tabakalarının tipik a_i katsayıları (KEÜPR, 2008)

Tabaka Tipi	a_i Katsayısı
Asfalt Betonu Aşınma	0.42
Asfalt Betonu Binder	0.40
Bitümlü Temel	0.36
GYT*	0.14

* Tez çalışması kapsamında Eşitlik 3.28 ile bulunan değer kullanılmıştır.

$$a_2 = 0.249 \times (\text{Log}(M_r)) - 0.977 \quad (3.28)$$

Çizelge 3.14. $T_{8.2}$ değerlerine göre minimum (başlangıç) esnek üstyapı tabaka kalınlıkları (KEÜPR, 2008)

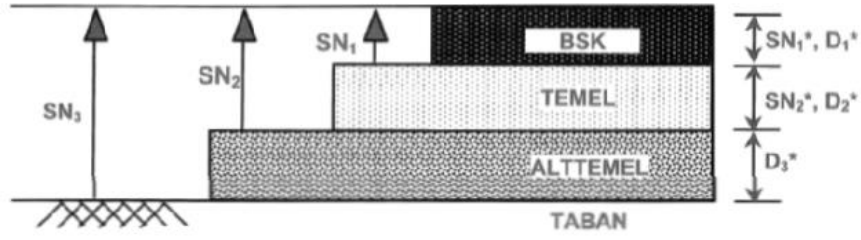
ÜSTYAPI TABAKALARI	TRAFİK KATEGORİLERİ (MİLYON)									
	3-10	10-30	30-45	45-60	60-80	80-110	110-145	145-185	185-250	>250
AŞINMA**	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BİNDER	10	6	7	7	7	8	8	8	10	10
BITÜMLÜ TEMEL	-	8	8	9	10	10	11	12	11	12
PMT VEYA KIRMATAŞ TEMEL	15	20	20	20	20	20	20	20	20	20
TOPLAM MEVCUT SN	8.35	10.38	10.78	11.14	11.50	11.90	12.26	12.62	13.06	13.42
MR (psi)	ALTEMEL KALINLIKLARI (KIRMATAŞ / KUM-ÇAKIL ALTEMEL)									
5800	20/25	15/20	25/30	25/30	25/30	30/35	30/35	30/35	35/40	35/40
6750	20/20	15/20	20/20	20/25	20/25	25/30	25/30	25/30	25/30	30/35
7500	15/20	15/20	15/20	15/20	20/20	20/25	20/25	20/25	25/30	25/30
8300	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	20/20	20/25	20/25	20/25
8900	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	20/20	20/20
9500	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20
10000	15/20	* /20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20
10650	15/20	* /20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20
11300	15/20	* /20	* /20	* /20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20
12000	* /20	* /20	* /20	* /20	* /20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20
12600	* /20	***	* /20	* /20	* /20	* /20	* /20	15/20	15/20	15/20
13300-15300	***	***	***	***	* /20	* /20	* /20	* /20	15/20	15/20
16000-16350	***	***	***	***	***	* /20	* /20	* /20	* /20	* /20
16700-17100	***	***	***	***	***	***	***	* /20	* /20	* /20
≥17500	GEREKMEZ									

* Üstyapı tabanının Tablo:14.1 'e uygun olması ve 75 mm 'den büyük çapta malzeme içermemesi kaydıyla PMT kalınlığı 5 cm arttırılacak, alttemel verilmeyecektir.

** Taş Mastik /Asfalt (TMA) kullanılması durumunda aşınma tabakasının kalınlığı 4 cm olacak, bitümlü temel kalınlığı 1 cm arttırılacaktır.

*** Üstyapı tabanının Tablo:14.1 'e uygun olması ve 75 mm 'den büyük çapta malzeme içermemesi kaydıyla alttemel verilmeyecektir.

$$SN = a_1 \times D_1 + m_2 \times a_2 \times D_2 + m_3 \times a_3 \times D_3 \quad (3.29)$$



SN_1 = Temel tabakası üzerine gereken SN
 SN_2 = Alttemel tabakası üzerine gereken SN
 SN_3 = Taban üzerine gereken SN

$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN_1^* = a_1 D_1^* \geq SN_1$$

$$D_2^* \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 m_2}$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$D_3^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3}$$

(*) Üstyapıda kullanılan gerçek değer olup gerekli değere eşit veya büyük olmalıdır.

Şekil 3.26. Seçilen esnek üstyapı kalınlıklarının kontrol aşamaları (KEÜPR, 2008)

3.6. Maliyet Analizi

Laboratuvar deneyleri ve kalınlık hesabı yapıldıktan sonra kalınlık hesabına esas alınmış olan 100 O, 100 KA, 50 KA + 50 O'dan oluşturulmuş 3 farklı esnek üstyapının GYT tabakasının maliyet analizi yapılmıştır.

Maliyet analizi için esnek üstyapı ve inşaat aşamaları ile ilgili yapılan kabul ve varsayımlar şu şekildedir:

- Toplam 1 km uzunluğunda, iki yönde genişliği 6 m olan (şerit + banket) toplam 4 şeride sahip bir yol ele alınmıştır.
- KA için; malzemenin miktarı, temini, konkasörde kırılması, yol inşaat sahasına taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ile bu aşamalarda gerekli taşıt kullanımı ve işçilerin saatlik ücretleri hesaba dahil edilmiştir. KA'nın temin edildiği taş ocağından yol inşaat sahasına uzaklık 35 km olarak alınmıştır. Eşitlik 3.30'da 10 km'den uzak mesafeye motorlu taşıtlar ile taşınan malzemenin 1 ton için taşıma birim fiyatı

hesaplanmıştır. Bu hesapta ÇŞB (2019b) birim fiyatlarına göre “Her cins ve tonajda motorlu araç taşıma katsayısı (K)” değeri 330 TL olarak alınmıştır.

- GDBA’lı GYT için 100 KA’lı GYT ile aynı yapım aşamaları dikkate alınmış, fark olarak 100 O’nun yol şantiyesine yakın bir yerleşim yerinin beton yıkıntılarında elde edildiği düşünülerek kamyonla taşıma işleminin 5 km mesafede yapılacağı varsayılmıştır. 50 KA ve 50 O için KA ve GDBA’nın yerlerinde hazırlandıktan sonra inşaat sahasına ayrı ayrı taşınıp, burada karıştırılarak kullanılacağı varsayılmıştır. Eşitlik 3.31’de 10 km’den daha kısa mesafeye motorlu taşıtlar ile taşınan malzemenin 1 ton için taşıma birim fiyatı hesaplanmıştır. Bu hesapta ÇŞB (2019b) birim fiyatlarına göre “Her cins ve tonajda motorlu araç taşıma katsayısı (K)” değeri 330 TL olarak alınmıştır.

$$F = K \times (0.0007 \times M + 0.01) \quad (3.30)$$

$$F = 0.00017 \times K \times \sqrt{M} \quad (3.31)$$

Burada,

F: Taşıma birim fiyatı (ton/TL)

K: Her cins ve tonajda motorlu araç taşıma katsayısı (330 TL)

M: Taşıma mesafesi (Eşitlik 3.30’da km ve Eşitlik 3.31’de m cinsinden)

- Esnek üstyapı olarak tasarlanan bu yolların asfalt betonu kaplaması ve taban zemini tabakaları aynı olduğundan bu tabakaların analizi hesaba katılmamıştır.
- Hesaplara esas birim fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın (ÇŞB) yayınladığı birim fiyat listesine göre seçilmiştir (ÇŞB, 2019a). Çizelge 3.15’te kırmataş tesisinde kırılmak üzere kullanılması için kayadan uygun işlemlerle konkasörde kırılmaya hazır hale getirilen taşın hazırlanmasını gösteren 19.100.2015 Poz Nolu “ocakta taş hazırlanması” işleminin ayrıntıları, Çizelge 3.16’da bu hazırlanan taşın konkasörde kırılma işlemlerini gösteren 19.100.2017 Poz Nolu “taştan konkasörle kırılmış ve elenmiş 30 mm’ye kadar kırma taş hazırlanması” işleminin ayrıntıları ve Çizelge 3.17’de hazırlanmış kırmataş malzemenin inşaat sahasında tabi tutulduğu işleri gösteren 15.125.1004 Poz Nolu “çakıl temin edilerek, makine ile serme, sulama ve sıkıştırma yapılması” işleminin ayrıntıları verilmiştir. Bu tablolardaki işlemlerde ve saatlik araç fiyatlarında hem işçi, operatör, yağcı hem de mazot maliyetleri hesaba dahil edilerek birim fiyatlar hesaplanmıştır. Bu çizelgelerdeki verilerden “ocakta taş hazırlanması işlemi” KA için “taştan konkasörle kırılmış ve elenmiş 30 mm’ye kadar

kırma taş hazırlanması” aşamasında doğrudan hesapta kullanılmış; fakat GDBA için “ocak yüzünün temizlenmesi, sökülmesi, büyük parçaların kırılması, çürüklerin ayıklanması, düzeltilme” iş aşamalarından önceki aşamalar yok sayılmıştır. Bunun nedeni GDBA’nın taş ocağından taş olarak elde edilmesinin yerine ilgili binanın yıkılması sırasında büyük bloklar şeklinde elde edilmesidir. Binanın yıkılma işleminin ise ekskavatör ve yükleyicinin işçi ile birlikte çalışarak yapılması düşünülmüş ve patlatma işlemi yok sayılmıştır; çünkü patlatma işlemi taş ocağından kayaları taşlara ayırmak için kullanılmaktadır. GDBA için “taştan konkasörle kırılmış ve elenmiş 30 mm'ye kadar kırma taş hazırlanması” işlemi için büyük, taş halindeki malzemenin konkasöre girme aşaması bu şekilde kabul edilmiştir. 50 KA + 50 O ile oluşturulmuş GYT için malzemelerin ayrı ayrı temin edilip, inşaat sahasında karıştırılarak kullanıldığı varsayılmıştır. Bu nedenle 50 KA + 50 O’nun 50 KA kısmında KA’nın elde edilme yöntemleri, 50 O kısmında ise GDBA’nın elde edilme yöntemleri geçerli olmuştur.

Cizelge 3.15. 19.100.2015 Poz Nolu “Ocakta taş hazırlanması” işleminin ayrıntıları

Rayiç No	Tanımı	Birimi	Miktarı	Birim Fiyat (TL)
	Patlayıcı madde karşılığı			
10.160.1003	Amonyum nitrat, fuel-oil karışımı	kg	0.425	4.42
10.160.1003	Amonyum nitrat, fuel-oil karışımı	kg	0.213	4.42
	(patlama için gerekli şok tüpü ve benzeri ilave malzemeler karşılığı)			
	İşçilik:			
	Patlayıcı deliklerinin açılması, doldurulup patlatılması ve iş emniyeti karşılığı			
19.100.1106	Paletli delgi makinasının 1 saatlik ücreti	sa	0.011	245.18
10.100.1011	Lağımçı (ateşleme ustası)	sa	0.011	15.7
10.100.1063	Erbab işçi	sa	0.044	12.25
	Ocak yüzünün temizlenmesi, sökülmesi, büyük parçaların kırılması, çürüklerin ayıklanması, düzeltilme			
	Ekskavatör (paletli) (260hp) (maksimum 2.5 m ³) 1 saatlik ücreti		0.05	266.46
	Yükleyici (lastik tekerlekli) (100 hp) (maksimum 2 m ³) 1 saatlik ücreti		0.03	110.92
	Düz işçi (inşaat işçisi)		0.25	11.5

Çizelge 3.16. 19.100.2017 Poz Nolu “Taştan konkasörle kırılmış ve elenmiş 30 mm'ye kadar kırma taş hazırlanması” işleminin ayrıntıları

Rayıç No	Tanımı	Birimi	Miktarı	Birim Fiyat (TL)
	Malzeme:			
19.100.2015	Ocakta taş hazırlanması	m ³	1	25.76
	İşçilik:			
	Konkasöre yükleme ve konkasör altının boşaltılması karşılığı			
19.100.1029	Yükleyici (lastik tekerlikli) (100 hp) (maksimum 2 m ³) 1 saatlik ücreti	sa	0.02	110.92
	Kırma, yükleme, eleme karşılığı			
19.100.1034	Konkasörün 1 saatlik ücreti	sa	0.011	308.86
	Granülometri ve kalite araştırma işleri karşılığı			
10.100.160	Formen	sa	0.1	23.1
	Taşıtlara yükleme, boşaltma ve figüre karşılığı			
19.100.1029	Yükleyici (lastik tekerlikli) (100 hp) (maksimum 2 m ³) 1 saatlik ücreti	sa	0.006	110.92

Çizelge 3.17. 15.125.1004 Poz Nolu “çakıl temin edilerek, makine ile serme, sulama ve sıkıştırma yapılması” işleminin ayrıntıları

Rayıç No	Tanımı	Birimi	Miktarı	Birim Fiyat (TL)
10.130.1001	Çakıl (elenmesi gerekmeyen iri agrega)	m ³	1	10.00
	Serme karşılığı			
19.100.1013	Greyder (190-209 hp) 1 saatlik ücreti	sa	0.01	201.60
	Arazözle sulama			
10.130.9991	Su	m ³	0.1	6.84
19.100.1044	Arasöz'ün 1 saatlik ücreti	sa	0.013	63.63
	Titreşimli silindir ile sıkıştırma			
19.100.1047	Titreşimli silindir'in 1saatlik ücreti	sa	0.017	106.29

Maliyet analizi aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir:

1. GYT tabakasının kalınlığına ve uzunluğuna göre m^3 olarak, hacim cinsinden toplam kullanılacak malzeme miktarının bulunması ile başlanmıştır.
2. şB'nin yayınladığı birim fiyat listesine göre $1 m^3$ malzemenin temini, kırılması, kamyonlara doldurulması, taşınması; yol inşaat sahasında su ile karıştırılarak yerleştirilmesi ve sıkıştırılması maliyeti hesaplanmıştır. GDBA'nın taşıma işlemi, kalınlık hesabı yapılmış yolun, GDBA'nın yıkma işlemi ile elde edileceği binaya uzaklığının 5 km olacağı varsayımıyla 5 km olarak alınmıştır. KA için taşıma mesafesi 35 km olarak kabul edilmiştir. Bunun nedeni, GDBA kullanmanın taşıma maliyetlerinde büyük bir düşüş meydana getirebilmesi için, yolun yerleşim yerine mesafesinin KA'nın elde edileceği taş ocağına göre daha yakın olması gerekliliğidir ki böylece GDBA'yı kullanmak daha avantajlı hale gelebilmektedir.
3. 100 KA, 100 O ve 50 KA + 50 O için hesaplanan toplam maliyetin karşılaştırması yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, önceki bölümde açıklanmış olan deney, analiz ve hesaplama sonuçları ayrıntılı olarak, çizelge ve grafikler şeklinde verilmiştir. Sonuçlar geçmişteki literatür çalışmalarına da atıfta bulunularak tartışılmıştır. Elek analizi deney sonuçları malzemelerin hazırlanması aşamasında “Materyal ve Yöntem” bölümünde verildiğinden, bu bölümde elek analizi sonuçlarına değinilmemiştir.

4.1. Agrega Deneylelerinin Sonuçları

Bu bölümde “Materyal ve Yöntem” bölümünde “Agrega Deneyleleri” başlığı altında açıklanan deneylelerin sonuçları verilmiştir.

4.1.1. Yassılık endeksi deney sonuçları

23 tasarım için yapılan yassılık endeksi deneylelerinin sonuçları Çizelge 4.1’de görülmektedir. Sonuçlardan, 100 KA’nın yassılık endeksinin %19.14 ile en fazla olduğu gözlenmiştir. DA ve GDBA’larda yassılık endeksi değeri birbine yakın olmakla beraber KA’ya kıyasla oldukça düşük değeri elde edilmiştir. 100 G, 100 O, 100 Z ve 100 DA’da sırasıyla %6.72, %7.20, %6.34, %5.94 bulunmuştur. GDBA’larda daha önceki çalışmalarda %16.78 (Cho ve ark., 2011), %4 - %9 (Barbudo ve ark., 2012), %11.68 (Bahadır ve Demir, 2018) değeri elde edilmiştir. Buna göre elde edilen yassılık endeksi değeri daha önceki çalışmalara benzer şekilde elde edilmiştir. Yassılık endeksi kırma tesisindeki kırma aşamalarına ve kırıcı ekipmanlarına bağlı olarak değeri (Estes ve Fensome, 2014). DA’nın yassılık endeksi değeri düşük olması, bu malzemenin herhangi bir kırma işlemine tabi tutulmadan doğal haliyle kullanılmasıyla ve malzemenin jeolojik oluşma evreleri aşamalarıyla alakalıdır. GDBA’larda ise düşük yassılık endeksi değeri elde edilmesi; bu tez çalışması sırasında özellikle laboratuvar ortamında yapılan kırma işleminin, 10 mm’den küçük taneler elde etmek için maksimum 10 mm çene açıklığına sahip olacak şekilde ayarlanmış çeneli kırıcıyla ve 10 - 25 mm arasındaki taneler elde etmek amacıyla maksimum 25 mm çene açıklığına sahip olacak şekilde ayarlanmış çeneli kırıcıyla yapılmasıyla açıklanabilir. Bu durum kırılma aşamasında tanelerin kırıcı çenede daha fazla zaman geçirmesine ve bütün yüzeylerinde daha fazla kırılmaya, dolayısıyla da yassılığın azalmasına neden olmuştur. Ama KA elde edilirken,

kırma tesisindeki sabit kırıcı 38 mm'den geçen malzemeleri farklı tane boyutlarındaki fraksiyonlarına ayırmaktadır. Yani KA'da her tane fraksiyonu için ayrı çene açıklığıyla değil de maksimum 38 mm çene açıklığı kullanılarak malzeme elde edildiği için taneler kırılma işlemi sırasında çeneli kırıcıda daha az zaman geçirmişler ve sonuç olarak yassılık endeksi yüksek olmuştur. Bütün malzemeler KTŞ'deki (2013) sırasıyla GYT ve GYAT malzemelerinin sağlaması gereken sınır yassılık endeks değer şartları olan %25 ve %30'dan düşük yassılık endeksi değerlerine sahip olduğundan bunların GYT ve GYAT malzemesi olarak kullanılması bu özellik bakımından bir sakınca oluşturmamaktadır.

Çizelge 4.1. Yassılık endeksi deney sonuçları

Tasarım	Yassılık Endeksi (%)
100 KA	19.14
100 DA	5.94
100 G	6.72
100 O	7.20
100 Z	6.34
75 KA 25 G	16.48
75 KA 25 O	16.80
75 KA 25 Z	16.09
50 KA 50 G	12.18
50 KA 50 O	12.47
50 KA 50 Z	11.94
25 KA 75 G	9.92
25 KA 75 O	10.38
25 KA 75 Z	9.69
75 DA 25 G	6.09
75 DA 25 O	6.18
75 DA 25 Z	5.94
50 DA 50 G	6.63
50 DA 50 O	6.87
50 DA 50 Z	6.14
25 DA 75 G	6.69
25 DA 75 O	7.10
25 DA 75 Z	6.24

4.1.2. Kıvam limitleri deney sonuçları

Çizelge 4.2'de 23 farklı tasarım için hesaplanmış kıvam limitleri görülmektedir. EK 1'de ayrıntılı sonuçlar verilmiştir. Buna göre 100 DA haricinde, karışımlar da dahil olmak üzere, tüm karışımlarda plastiklik "NP (non-plastic)" olarak bulunmuştur. Bunun nedeni 100 DA dışındaki hiçbir tasarımda malzemelerin ince kısımlarının plastik davranış sergilememesidir. Bu durum GDBA'lar için de geçerli olmuştur. GDBA'larda ince

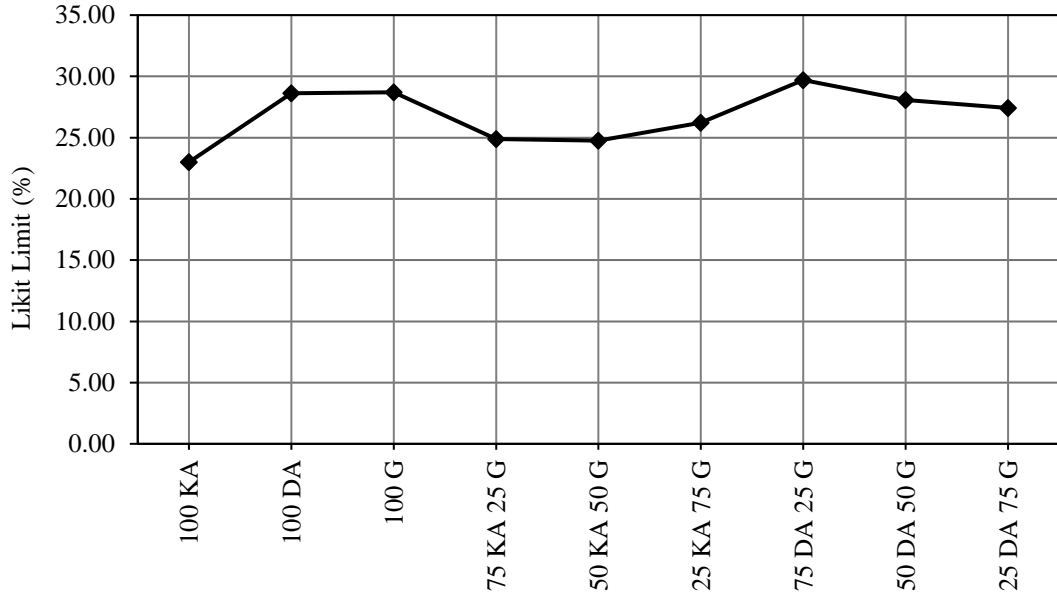
taneler çoğunlukla kırılma aşamasında yapışık çimento harcından meydana gelmiştir. İnce hale gelen bu yapı yüksek su emme eğilimi gösterirken çimentonun yapısı gereği plastik bir davranış göstermemiştir. Her bir GDBA'nın ve bunların DA ve KA ile karışımlarının likit limitlerinin değişimleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Buna göre diğer tasarımlara göre %23 likit limit değeri ile daha düşük likit limite sahip olan KA'ya, likit limit değerleri %28.71 - %30.72 arasında olan GDBA'lar ilave edildikçe karışımların likit limitlerinin yükseldiği görülmüştür. DA %28.61 likit limit değeriyle GDBA'lardan daha az likit limite sahip olmasına rağmen, DA'nın plastik limiti %21.17 olduğundan plastisite indisi %7.44 olmuş ve DA plastik bir özellik göstermiştir. Bu nedenle plastik özellik göstermeyen (NP) GDBA'lar DA'lı karışımlarda karışımın plastisitesini NP hale getirmiş ve böylece bütün karışımlar KTŞ'de GYT için istenen NP özelliğe sahip olmuştur.

Çizelge 4.2. Kıvam limitleri deney sonuçları

Tasarım	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)
100 KA	23.00	-	NP
100 DA	28.61	21.17	7.44
100 G	28.71	-	NP
100 O	29.68	-	NP
100 Z	30.72	-	NP
75 KA 25 G	24.89	-	NP
75 KA 25 O	24.66	-	NP
75 KA 25 Z	25.70	-	NP
50 KA 50 G	24.74	-	NP
50 KA 50 O	25.62	-	NP
50 KA 50 Z	24.74	-	NP
25 KA 75 G	26.21	-	NP
25 KA 75 O	27.28	-	NP
25 KA 75 Z	26.08	-	NP
75 DA 25 G	29.70	-	NP
75 DA 25 O	28.86	-	NP
75 DA 25 Z	28.38	-	NP
50 DA 50 G	28.08	-	NP
50 DA 50 O	28.98	-	NP
50 DA 50 Z	27.99	-	NP
25 DA 75 G	27.42	-	NP
25 DA 75 O	28.12	-	NP
25 DA 75 Z	28.49	-	NP

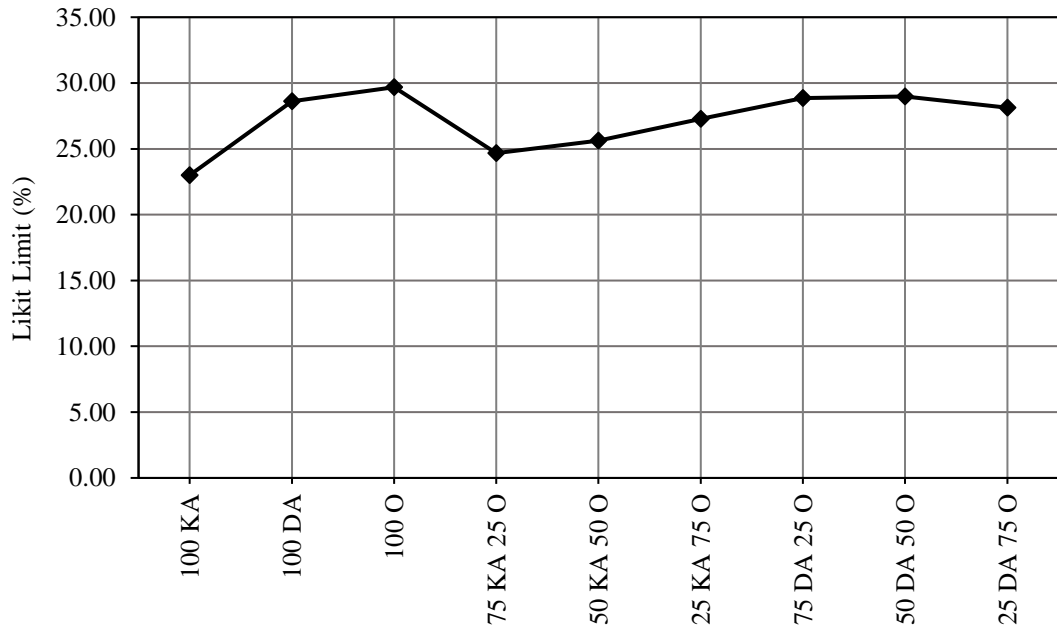
Bu nedenle 100 DA dışındaki tüm tasarımların plastisite indisleri "NP" olduğundan KTŞ'ye (2013) göre hem GYT hem de GYAT malzemesi olarak kullanılabilmesinde bu özellik bakımından bir sorun teşkil etmemektedirler. Fakat

birkaç karışım tasarımı dışında likit limit değerleri %25'ten fazla olduğundan likit limit şartını sağlayamamışlardır.



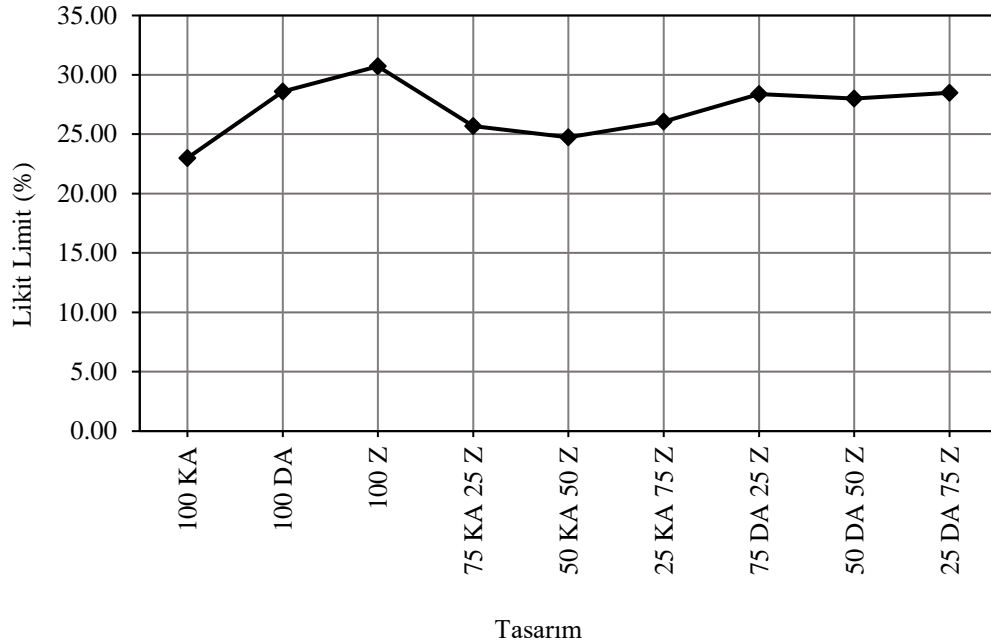
Tasarım

(a)



Tasarım

(b)



(c)

Şekil 4.1. Likit limitlerin GDBA türlerine bağlı olarak değişimi, **a)** KA - DA - G karışımlarının tasarımları, **b)** KA - DA - O karışımlarının tasarımları, **c)** KA - DA - Z karışımlarının tasarımları

4.1.3. Tane yoğunluğu ve su emme deney sonuçları

Çizelge 4.3'te 23 farklı tasarım için elde edilmiş su emme ve tane yoğunluğu deneylerinin sonuçları verilmiştir. Buna göre 100 G, 100 O ve 100 Z'de su emme değerleri sırasıyla %4.63 (ince tanelerde %6.59), %2.88 (ince tanelerde %6.00) ve %3.56 (ince tanelerde %6.75) olarak elde edilmiştir. 100 KA ve 100 DA'nın su emme değerleri ise sırasıyla %0.63 (ince tanelerde %0.78) ve %2.49 (ince tanelerde %3.49) olarak bulunmuştur. Önceki çalışmalarda bazı araştırmacılar GDBA'lar ile ilgili benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Bu çalışmalardan bazılarında GDBA'larda %1.43 - %6.77 arasında (Park, 2003), %5.1 (Shehata ve ark., 2010), %4.66 - %9.75 arasında (Arulrajah ve ark., 2012), %4.19 - %9.23 arasında (Bestgen ve ark., 2016) su emme değerleri elde edilmiştir. Bu su emme değerleri tez çalışmasının sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Tane yoğunluğu değerlerinde ise su emme ile ters orantılılık gözlenmiştir. Buna göre 100 KA ve 100 DA'da tane yoğunlukları sırasıyla (iri - ince agrega olmak üzere) 2.75 gr/cm^3 - 2.48 gr/cm^3 ve 2.74 gr/cm^3 - 2.48 gr/cm^3 olarak bulunmuş ve 100 G, 100 O ve 100 Z'de sırasıyla (iri - ince agrega olmak üzere) 2.62 gr/cm^3 - 2.35 gr/cm^3 , 2.67 gr/cm^3 - 2.39 gr/cm^3 ve 2.69 gr/cm^3 - 2.40 gr/cm^3 değerleri elde edilmiştir. Önceki çalışmalarda GDBA'lar için tane yoğunluğu 2.051 gr/cm^3 - 2.435 gr/cm^3 (Jimenez ve ark., 2011);

özgül ağırlık ise 2.1 - 2.4 (Sharma ve Singla, 2014), 2.29 - 2.53 (Aydilek, 2015) olarak bulunmuştur. Buna göre tez çalışması kapsamında bulunan değerlerle yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar genel olarak GDBA'ların sahip olduğu yapışık çimento harcı ve boşluklu bir yapıya sahip olmaları nedeniyle (Barbudo ve ark., 2012) DA ve KA'ya göre daha hidrofil bir malzeme olmalarından ileri gelmiştir. Tane yoğunluğu değerleri ise yine bu yapışık harç nedeniyle GDBA'larda DA ve KA'ya göre daha düşük elde edilmiştir; çünkü çimento harcının tane yoğunluğu genel olarak 1 gr/cm^3 - 1.6 gr/cm^3 arasında değişmekte, bu da GDBA'larda tane yoğunluğu değerlerinin saf agrega tanesinden daha düşük olmasına neden olmaktadır (Tam ve Le, 2007). KTŞ'de (2013) GYT ve GYAT malzemelerinin hem iri hem de ince agregada sırasıyla %3 ve %3.5'ten daha düşük su emme değerlerine sahip olması gerektiği verilmiştir. Buna göre GDBA'lar tek başlarına kullanıldığında bu limit değerinin üstünde su emme değerlerine sahip olurken, %75 KA'lı tasarımlar dışındaki tüm tasarımlarda %3 su emme değerinden daha fazla su emme değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.3. Tane yoğunluğu ve su emme deney sonuçları

Tasarım	Tane Yoğunluğu	Tane Yoğunluğu	Su Emme (%)	Su Emme (%)
	(gr/cm^3)	(gr/cm^3)		
	İri Agregada	İnce Agregada	İri Agregada	İnce Agregada
100 KA	2.75	2.48	0.63	0.78
100 DA	2.74	2.48	2.49	3.49
100 G	2.62	2.35	4.63	6.59
100 O	2.67	2.39	2.88	6.00
100 Z	2.69	2.40	3.56	6.75
75 KA 25 G	2.73	2.44	1.64	2.24
75 KA 25 O	2.74	2.45	1.18	2.09
75 KA 25 Z	2.75	2.46	1.36	2.28
50 KA 50 G	2.70	2.41	2.62	3.67
50 KA 50 O	2.72	2.43	1.76	3.40
50 KA 50 Z	2.73	2.44	2.10	3.77
25 KA 75 G	2.66	2.38	3.64	5.13
25 KA 75 O	2.70	2.41	2.33	4.70
25 KA 75 Z	2.72	2.42	2.82	5.27
75 DA 25 G	2.72	2.44	3.03	4.27
75 DA 25 O	2.73	2.45	2.58	4.12
75 DA 25 Z	2.73	2.45	2.76	4.29
50 DA 50 G	2.69	2.41	3.57	5.05
50 DA 50 O	2.71	2.43	2.70	4.73
50 DA 50 Z	2.72	2.43	3.03	5.11
25 DA 75 G	2.66	2.38	4.09	5.82
25 DA 75 O	2.69	2.40	2.79	5.38
25 DA 75 Z	2.71	2.41	3.29	5.92

4.1.4. Los Angeles (LA) aşınma deney sonuçları

23 farklı tasarım için LA aşınma deney sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelge incelendiğinde en düşük LA aşınma değerlerinin sırasıyla 100 KA ve 100 DA'da %31.09 ve %33.76 ile elde edildiği görülmektedir. En yüksek LA aşınma değerleri ise %46.66, %45.03 ve %40.39 ile 100 G, 100 Z ve 100 O'da elde edilmiştir. Önceki çalışmalarda bazı araştırmacılar GDBA'larda %21 - %25 (Nataatmadja ve Tan, 2001), %32.9 - %43.6 (Park, 2003), %42.7 (Fonseca ve ark., 2011), %29 - %34 (Jitsangiam ve ark., 2015) LA aşınma değerleri bulmuşlardır. Bu çalışmada GDBA'lar için elde edilen LA aşınma değerleri genel olarak literatür çalışmalarında elde edilen değerlere göre yüksek olmuştur. LA aşınma değeri malzemenin elde edildiği kayaç özellikleriyle ilgili olduğundan ve KA genel olarak GYT ve GYAT malzemesi olarak kullanıldığından, KA için LA aşınma değeri sırasıyla hem GYT hem de GYAT için KTŞ'ye (2013) göre istenen sınır şartlar olan %45 ve %35'in altında kalmış ve aşınma dayanıklılığı bakımından yeterli sonuç vermiştir. DA da aynı şekilde bu sınır şartlar bakımından istenen nitelikte olmuştur. Fakat GDBA'ların hepsi GYT malzemesinin sınır LA aşınma değerinin üstünde LA aşınma değerine sahip olduğundan bu özellik bakımından GYT'de kullanılmaya elverişli görünmemektedir. Buna rağmen 100 G ve 100 Z hariç, 100 O ve GDBA'ların DA ve KA ile karışımları GYAT malzemesi için istenen LA aşınma değeri bakımından uygun sonuç vermiş, hepsi bu sınır şartın altında LA aşınma değerine sahip olmuştur. GDBA'larda bu denli aşınma kaybının nedeni, GDBA'lardaki yapışık harç ile açıklanabilir. GDBA'ların elde edildiği betonun zamanla performansının kötüleşmesi ve binanın yıkımı sonrasında da uzun zaman boyunca çevresel etkilere maruz kalması sebebiyle yapışık çimento harcının ağır darbe altında GDBA'lardaki agregalardan ayrılması daha kolay bir şekilde gerçekleşmiştir. Buna göre GDBA'larda LA aşınma kaybı yapışık çimento harcının agregadan ayrılması şeklinde olmaktadır (Edil, 2012). Bu ayrılma ile GDBA'larda aşınmaya karşı direnç düşük olmuştur.

Çizelge 4.4. Los Angeles deney sonuçları

Tasarım	Los Angeles Aşınma (%)
100 KA	31.09
100 DA	33.76
100 G	46.66
100 O	40.39
100 Z	45.03
75 KA 25 G	35.10
75 KA 25 O	32.99
75 KA 25 Z	34.69
50 KA 50 G	38.96
50 KA 50 O	35.62
50 KA 50 Z	38.18
25 KA 75 G	41.88
25 KA 75 O	38.00
25 KA 75 Z	41.46
75 DA 25 G	37.15
75 DA 25 O	35.26
75 DA 25 Z	36.60
50 DA 50 G	40.10
50 DA 50 O	37.05
50 DA 50 Z	39.65
25 DA 75 G	43.16
25 DA 75 O	38.62
25 DA 75 Z	43.01

4.1.5. Magnezyum sülfat dayanıklılığı deney sonuçları

23 farklı tasarım için yapılan magnezyum sülfat dayanıklılığı deney sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir. Bu deneyler sonucunda en fazla malzeme kaybı sırasıyla %26.94, %25.31 ve %22.94 ile 100 G, 100 O ve 100 Z'de olmuştur. En az malzeme kaybı ise %2.33 ve %9.69 ile 100 KA ve 100 DA'da gerçekleşmiştir. Önceki çalışmalarda sülfat dayanıklılığı deneylerinde GDBA'larda %34 (Chini ve ark., 2001), %16.17 (Kumar, 2017), %14.3 - %15.7 (Haider ve ark., 2014) oranlarında malzeme kayıpları gözlenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında GDBA'lar için elde edilen değerlerin, literatürdeki geniş aralıkta bulunan kayıp değerlerinin arasında olduğu söylenebilir. Malzeme kayıplarının GDBA'larda KA ve DA'ya göre daha fazla olması, bu malzemelerin içerdikleri yapışık çimento harcının sülfat hücumuna uğraması sonucu parçalanması nedeniyle gerçekleşmiştir. Sülfat hücumu betonlarda da tehlikeli olabilen bir zararlı çevresel etkidir ve sülfat hücumundan GDBA'larda bulunan beton ve yapışık çimento harcı (Haider ve ark., 2014) KA ve DA'ya göre daha fazla etkilenmiştir (Cardoso ve ark., 2016). Bu durum, GDBA'ların donma-çözülme etkisi altındaki dayanıklılığının belirlenebilmesi

için daha başka bir deneye başvurulması gerektiğini (Chini ve ark., 2001) ve aynı zamanda GYT ve GYAT'nin sülfat hücumuna uğramasına neden olabilecek zararlı yer altı suyu bulunduran bölgelerde GDBA'ların GYT ve GYAT'de kullanılmasının sakıncalarının olabileceğini göstermektedir. Buna göre; KTŞ'deki GYT ve GYAT için verilmiş olan sınır magnezyum sülfat dayanıklılığı malzeme kaybı değeri ile GDBA'ların malzeme kayıpları karşılaştırıldığında, GDBA'ların GYAT'de bu özellik bakımından kullanılmasının bir sakıncasının olmadığı; fakat GYT'de kullanılmasının sakıncalı olduğu belirlenmiştir. Karışımlarda ise birkaç tane tasarım hariç hem GYT hem de GYAT için gerekli sınır değer altında malzeme kayıpları elde edildiğinden, karışım tasarımlarının GYT ve GYAT'de kullanılmasının bu bakımdan bir sakıncası yoktur.

Çizelge 4.5. Magnezyum sülfat dayanıklılığı deney sonuçları

Tasarım	MgSO ₄ Malzeme Kaybı (%)
100 KA	2.33
100 DA	9.69
100 G	26.94
100 O	25.31
100 Z	22.94
75 KA 25 G	8.64
75 KA 25 O	7.83
75 KA 25 Z	7.36
50 KA 50 G	14.69
50 KA 50 O	13.91
50 KA 50 Z	12.52
25 KA 75 G	20.67
25 KA 75 O	19.89
25 KA 75 Z	18.19
75 DA 25 G	14.23
75 DA 25 O	13.45
75 DA 25 Z	12.73
50 DA 50 G	18.49
50 DA 50 O	17.53
50 DA 50 Z	16.14
25 DA 75 G	22.41
25 DA 75 O	21.80
25 DA 75 Z	19.76

4.1.6. Alkali silika reaksiyonu (ASR) deney sonuçları

23 tasarım için ASR deneyleri sonucunda elde edilen uzama miktarları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Buna göre 100 KA, 100 DA, 100 G, 100 O ve 100 Z'de sırasıyla %0.020, %0.022, %0.035, %0.027 ve %0.029 uzama değerleri bulunmuştur. Beton

üretiminde kullanılacak agrega için ASR deneyi sonucunda elde edilecek uzama %0.040'tan daha düşük olursa, bu agreganın betonda kullanımını ASR bakımından tehlikeli olmamaktadır (Boehme ve Joseph, 2016). KTŞ'de (2013) GYT ve GYAT için kullanılacak malzemelerin ASR özellikleri bakımından bir sınır şartı verilmemiştir. Bu nedenle ASR, tez çalışmasında bir fiziksel - kimyasal özellik olarak değerlendirildiğinde GDBA'ların ASR özelliği bakımından sorun teşkil etmediği belirlenmiştir. Ayrıca karışım tasarımlarında da 100 KA'lı tasarımlara yakın değerler elde edildiğinden hem GDBA'lar hem de karışımlar için ASR özelliği ihmal edilebilir.

Çizelge 4.6. ASR deneyi sonuçları

Tasarım	ASR deneyinde boy uzama oranı (%)
100 KA	0.020
100 DA	0.022
100 G	0.035
100 O	0.027
100 Z	0.029
75 KA 25 G	0.026
75 KA 25 O	0.023
75 KA 25 Z	0.021
50 KA 50 G	0.030
50 KA 50 O	0.027
50 KA 50 Z	0.026
25 KA 75 G	0.029
25 KA 75 O	0.028
25 KA 75 Z	0.031
75 DA 25 G	0.026
75 DA 25 O	0.026
75 DA 25 Z	0.025
50 DA 50 G	0.027
50 DA 50 O	0.023
50 DA 50 Z	0.029
25 DA 75 G	0.035
25 DA 75 O	0.025
25 DA 75 Z	0.026

4.2. Performans Deneylerinin Sonuçları

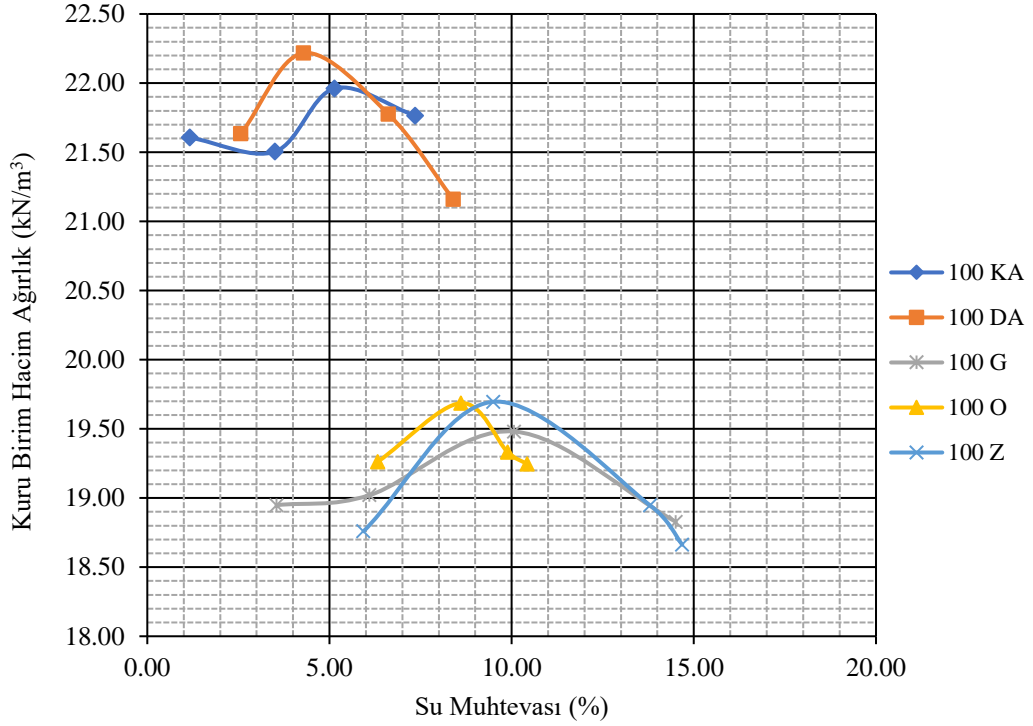
Bu bölümde “Materyal ve Yöntem” bölümünün “Performans Deneyleri” başlığı altında açıklanan deneylerin sonuçları verilmiştir.

4.2.1. Modifiye Proctor deney sonuçları

Modifiye Proctor deney sonuçları toplu bir şekilde 23 farklı tasarım için Çizelge 4.7’de verilmiştir. Bu çizelgede her bir deney sonucunda elde edilmiş olan w_{opt} ve γ_{kmaks} değerleri görülmektedir. EK 2’de ayrıntılı sonuçlar verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde 100 GDBA’lı tasarımlarda ve GDBA’ların DA ve KA ile karışımlarında, 100 DA ve 100 KA’ya göre daha yüksek w_{opt} değerlerinin elde edildiği gözlenmiştir (Şekil 4.2). Buna göre, en yüksek w_{opt} değerleri; sırasıyla %9.75 ve %9.60 ile 100 G ve 100 Z’de elde edilmiştir.

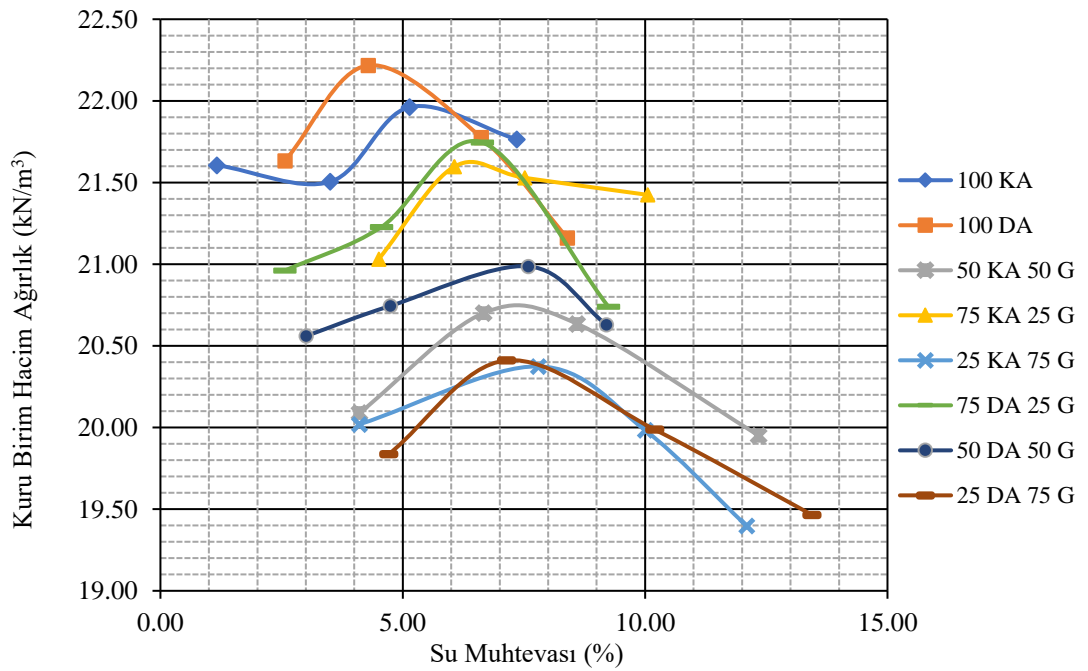
Çizelge 4.7. Modifiye Proctor deney sonuçları

Tasarım	Optimum Su Muhtevası (%)	Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)
100 KA	5.35	21.97
100 DA	4.40	22.22
100 G	9.75	19.48
100 O	8.60	19.69
100 Z	9.60	19.70
75 KA 25 G	6.40	21.62
75 KA 25 O	6.20	21.78
75 KA 25 Z	6.47	21.64
50 KA 50 G	7.20	20.73
50 KA 50 O	6.60	21.14
50 KA 50 Z	6.60	21.26
25 KA 75 G	7.75	20.38
25 KA 75 O	7.30	20.58
25 KA 75 Z	9.20	20.24
75 DA 25 G	6.42	21.76
75 DA 25 O	6.95	21.49
75 DA 25 Z	5.40	21.71
50 DA 50 G	7.50	20.99
50 DA 50 O	7.40	21.33
50 DA 50 Z	8.35	20.96
25 DA 75 G	7.23	20.42
25 DA 75 O	7.80	20.64
25 DA 75 Z	7.10	20.52

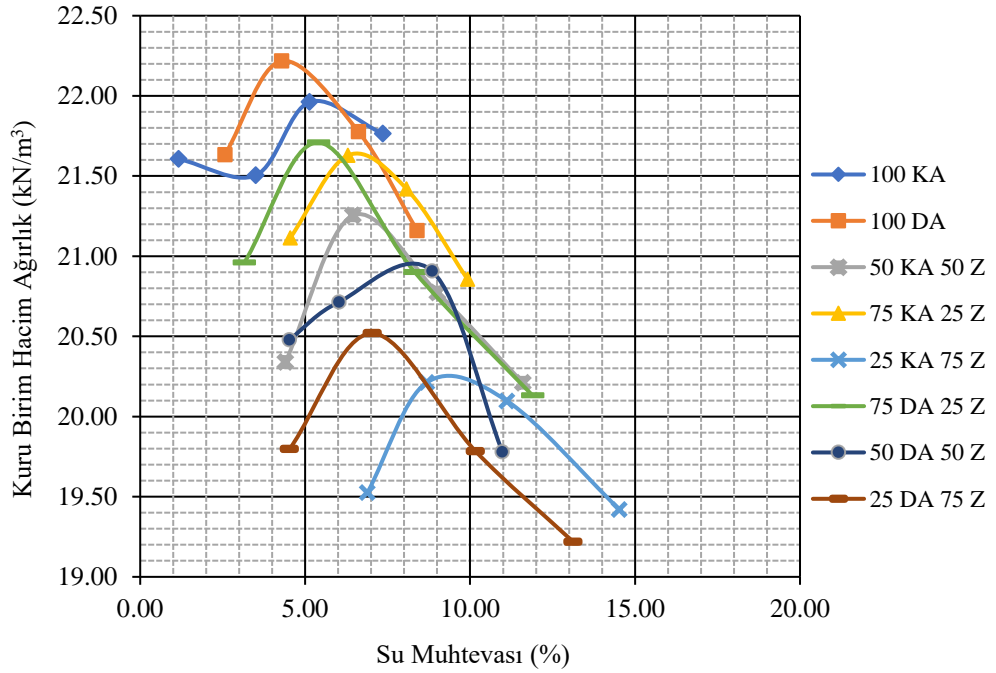
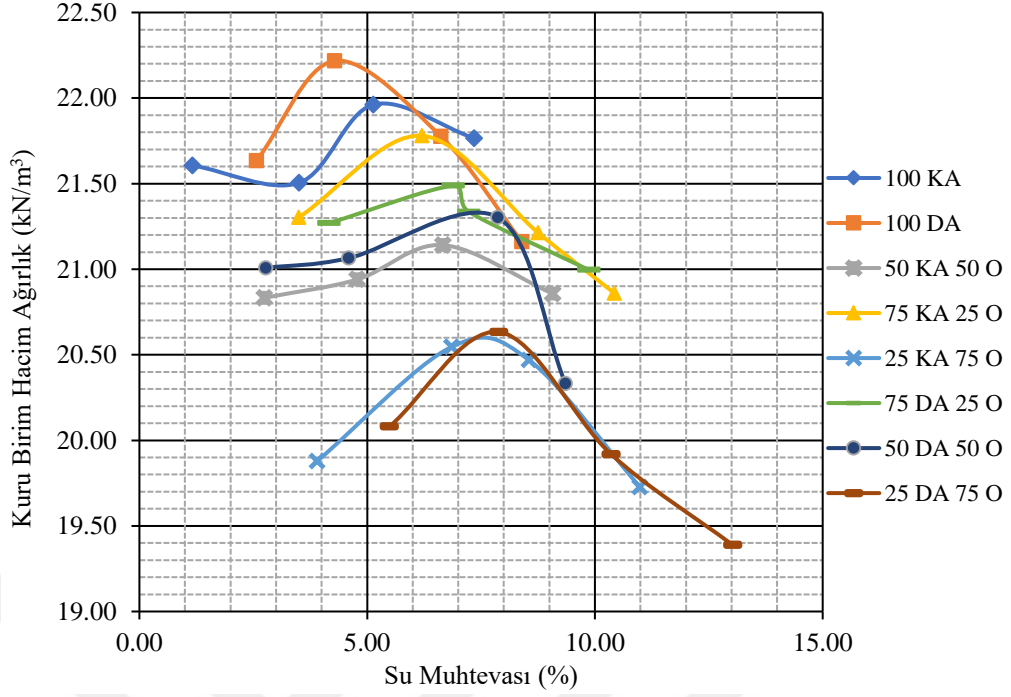


Şekil 4.2. Malzemelerin saf hallerinin kompaksiyon eğrileri

En düşük w_{opt} değerleri ise, %5.35 ve %4.40 ile 100 KA ve 100 DA'da elde edilmiştir. DA ve KA'nın GDBA'lar ile karışımlarında ise, GDBA yüzdesinin artmasıyla doğru orantılı olarak w_{opt} değerlerinde artış gözlenmiştir. Şekil 4.3'te her GDBA'nın DA ve KA ile karışımlarının kompaksiyon eğrilerinin karşılaştırılması görülmektedir.



(a)



Şekil 4.3. Tasarımların kompaksiyon eğrileri, **a)** KA - DA - G'li karışımların tasarımları, **b)** KA - DA - O'lu karışımların tasarımları, **c)** KA - DA - Z'li karışımların tasarımları

Geçmiş çalışmalarda GDBA'larda %9 - %12.8, (Park, 2003), %11.8 (Poon ve Chan, 2006), %12 (Arulrajah ve ark., 2012), %5.5 - %7.5 (Arshad ve Ahmed, 2017), %7.44 - %14.64 (Townsend ve ark., 2016) w_{opt} değerleri elde edilmiştir. Bu çalışma

kapsamında elde edilen w_{opt} değerleri önceki çalışmalarla tutarlılık göstermektedir. GDBA'ların yüksek w_{opt} değerlerine sahip olması, aynı zamanda bu malzemelerin yüksek su emme değerlerine sahip olmasıyla açıklanabilir (Poon ve ark., 2006). Ayrıca GDBA'ların yüksek su emme değerlerine sahip olmasının nedeni ise, bu malzemelerde mevcut olan yapışık çimento içeriğinden kaynaklanmaktadır. (Jimenez ve ark., 2012). Esas betondan gelen yapışık çimento, GDBA'ların daha gözenekli (Arm, 2001) ve su sever özelliğe sahip olmalarına neden olmuştur.

Çizelge 4.7'deki Modifiye Proctor deney sonuçlarından elde edilen γ_{kmaks} değerleri incelendiğinde, GDBA'ların KA ve DA'ya göre daha düşük γ_{kmaks} değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Karışımlarda GDBA'ların yüzdesinin artmasıyla bu değerlerin daha fazla azaldığı görülmüştür. En yüksek γ_{kmaks} değerleri 22.22 kN/m^3 , 21.97 kN/m^3 ile 100 DA ve 100 KA'da; en düşük γ_{kmaks} değerleri ise 19.48 kN/m^3 , 19.69 kN/m^3 ve 19.70 kN/m^3 ile sırasıyla 100 G, 100 O ve 100 Z'de elde edilmiştir. Önceki araştırmalarda GDBA'ların maksimum kuru yoğunluk değerleri 2.0 gr/m^3 (Nataatmadja ve Tan, 2001), $1.81 - 2.21 \text{ gr/cm}^3$ (Park, 2003) ve γ_{kmaks} değerleri $18.9 \text{ kN/m}^3 - 19.8 \text{ kN/m}^3$ (Nokkaew ve ark., 2012), 20.2 kN/m^3 (Lewis ve ark., 2015) olarak elde edilmiştir. Bu çalışmalarda GDBA'lar için elde edilen değerler tez çalışması kapsamında elde edilen değerlerle tutarlılık göstermektedir. γ_{kmaks} değerlerinin GDBA'larda daha düşük elde edilmesinin nedeni, GDBA'ların tane yoğunluğunun KA ve DA'ya göre daha düşük olmasıdır (Poon ve Chan, 2006). Tane yoğunluklarının düşük olmasına ise GDBA'larda mevcut olan yapışık çimento harcı neden olmaktadır (Jimenez ve ark., 2012). γ_{kmaks} değerlerinin GDBA'larda daha düşük elde edilmesinin başka bir nedeni ise, GDBA'yı daha pürüzlü hale getiren yapışık çimento harcının GDBA tanelerinin modifiye Proctor deneyi sırasında boşluklara yerleşmesini zorlaştırması ve bunun sonucunda kompaksiyon kalıbını daha az malzemenin doldurması olabilir.

Şekil 4.3'te verilen kompaksiyon eğrileri karşılaştırmaları incelendiğinde GDBA'ların DA ve KA gibi su muhtevaları değişimlerinden oldukça hassas bir şekilde etkilendiği görülmektedir (Jimenez ve ark., 2011) ki bu davranış, GYT ve GYAT malzemelerinin kompaksiyon sırasında karışıma verilen suya karşı genel davranışdır ve GDBA'lar için de geçerli olmuştur. Kompaksiyon sırasındaki bu davranışın bir sakıncası; uygulama sırasında dolgu malzemesi olarak serilip sıkıştırılacak malzemeye verilecek suyun doğru ayarlanamaması sonucunda, iyi bir sıkışmanın göstergesi olan γ_{kmaks} değerinden daha düşük γ_k değerinin elde edilmesi ve bunun sıkıştırmanın verimliliğini düşürmesi olmaktadır.

4.2.2. CBR deneylerinin sonuçları

23 farklı tasarımın yaş ve kuru CBR deney sonuçları Çizelge 4.8'de görülmektedir. EK 3'te ayrıntılı sonuçlar verilmiştir. Kuru CBR sonuçları dikkate alındığında, en yüksek değerlerin 100 KA ve 100 Z'de sırasıyla %152.21, %127.36 ile elde edildiği görülmektedir. Önceki bazı çalışmalarda GDBA'ların yaş CBR değerleri %66 (Poon ve ark., 2006), %97 - %138 (Barbudo ve ark., 2012), %90 - %143 (Gabr ve Cameron, 2012), %144 - %148 (Bestgen ve ark., 2016) ve kuru CBR değeri %66 (Poon ve Chan, 2006) olarak elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında GDBA'lar için geçmiş çalışmalara benzer değerler elde edilmiştir. 100 DA'da ise kuru CBR değeri %79.15 olarak bulunmuşken, bu değer GDBA'lara ve 100 KA'ya kıyasla oldukça düşük olmuştur. En yüksek kuru CBR değerinin 100 KA'lı numunede elde edilmesi olağan ve beklenen bir durumdur; çünkü bu malzeme kırmataş ve öz dayanımı yüksek olan malzemedir. GDBA'larda γ_{kmax} ve tane yoğunluğu düşük olmasına rağmen GYT ve GYAT için yeterli olabilecek şekilde %100'ü aşan CBR değerleri elde edilmesinin nedeni ise, GDBA'ların kendi öz dayanımlarının yüksek olmasıdır. Şekil 4.4'te kuru ve yaş CBR değerlerinin her GDBA için DA ve KA'nın CBR değerlerine göre değişimleri görülmektedir.

GDBA'ların KA ile karışımlarında CBR değerlerinde düşüşler gözlenmiştir. Bunun nedeni öz dayanımları KA'ya göre daha düşük olan GDBA'ların (Poon ve Chan, 2006; Jimenez ve ark., 2011), KA ile karıştırıldıklarında karışım matriksinin genel dayanımını düşürmeleri ve karışımda aynı boyutta olmalarına rağmen farklı şekil, yassılık ve köşeliliğe sahip olan taneciklerin kötü bir yerleşim ve dolayısıyla da taneler arasında kötü bir kenetlenmeye neden olmasıdır. Taneler arasında bu kötü yerleşimden meydana gelen kötü kenetlenme ise taneler arasındaki yük aktarım verimini zayıflatmakta ve dolayısıyla da dayanımı düşürmektedir. Burada şu noktaya dikkat edilmelidir: KA'nın aslında yassılık endeksi değeri yüksek olmasına rağmen (bu durum izotrop davranıştan ziyade anizotrop bir davranışa neden olabilmekte ve genel dayanımda düşüşlere neden olabilmektedir.) yukarıda açıklanan KA'nın sahip olduğu yüksek öz dayanım, yüksek yassılığın kötü etkisini bertaraf etmiştir. Fakat GDBA'ların DA ile karışımlarında farklı bir durum söz konusu olmuştur. GDBA'ların DA ile karışımlarının kuru CBR değerlerinde 100 DA'nın kuru CBR değerine göre gözle görülür bir artış meydana gelmiştir. Bu artış ise; 100 DA'nın sahip olduğu oldukça düşük öz dayanım nedeniyle, GDBA'ların %100 olduğu durumlarındaki kuru CBR değerinden daha düşük kuru CBR

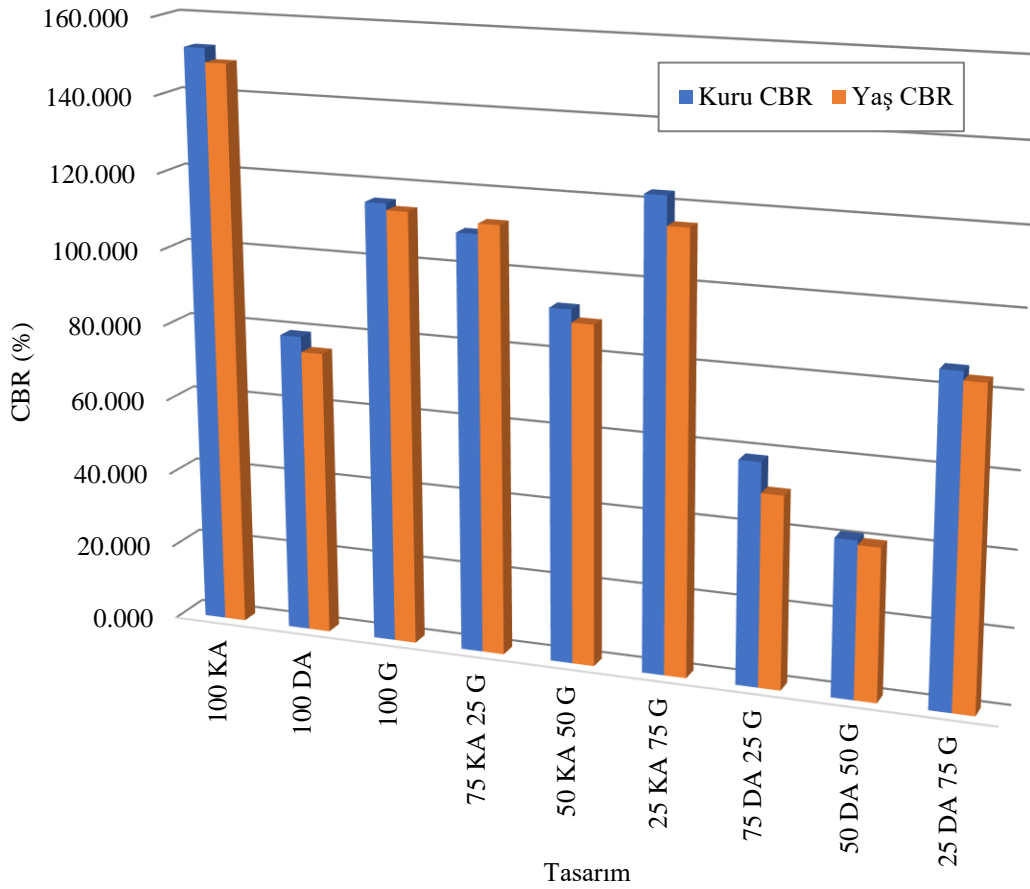
değerine sahip olması ve karışımda GDBA'lar arttıkça kötü tane yerleşimine rağmen yine de GDBA'ların, karışımların yüksek dayanıma sahip olmalarına yol açmasıyla açıklanabilir.

Yaş CBR değerleri ise %148.56, %133.77 ve %129.42 ile sırasıyla 100 KA, 100 Z ve 100 O'da elde edilmiştir. En düşük yaş CBR değeri %75.140 yaş CBR değerine sahip olan 100 DA'da gözlenmiştir. Bu durum kuru CBR'deki durumdan farklı değildir. Ayrıca Çizelge 4.8 incelendiğinde, yaş CBR değerleri ile kuru CBR değerleri arasında büyük farklar olmadığı görülmektedir. Bütün malzemelerde, 100 DA hariç, ince taneler plastik bir davranış sergilemediğinden ve malzemelerin gradasyonunda ince taneler çok büyük yer kaplamadığından, yani su ile etkileşim sonunda özellikleri çok değişmediğinden, yaş ve kuru CBR değerleri arasında büyük farklar meydana gelmemiştir. Bu sebeple kuru CBR değerleri için yapılan yorum ve çıkarımlar yaş CBR değerleri için de yapılabilir. Buna göre yaş CBR deneyinde 4 günlük suda bekletme periyodu ihmal edilebilir (Poon ve Chan, 2006; Behiry, 2013).

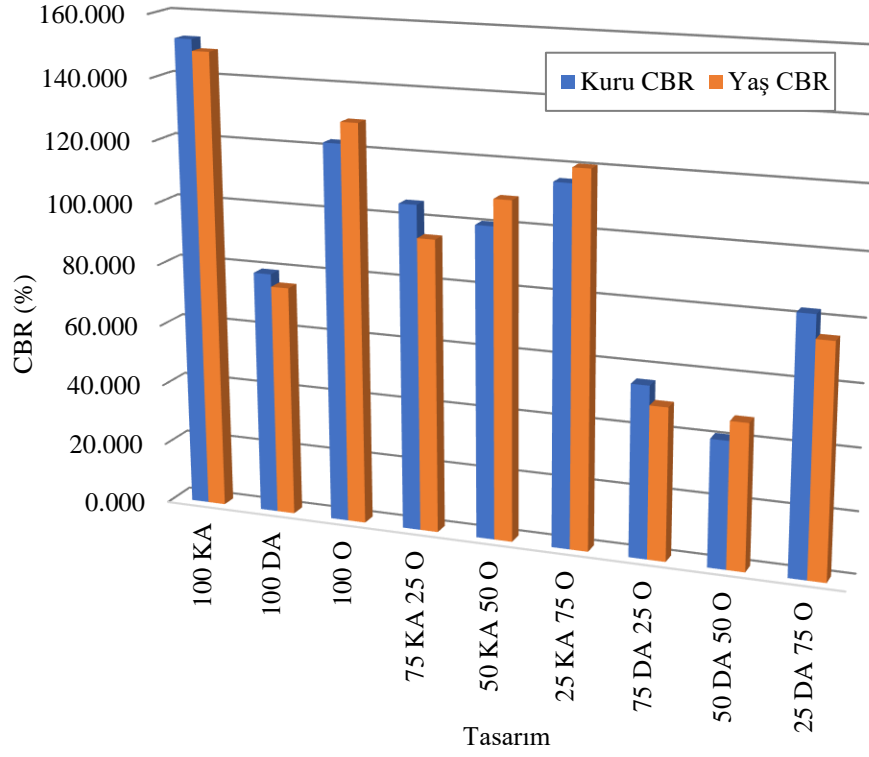
Çizelge 4.8. CBR deneylerinin sonuçları

Tasarım	Kuru CBR Değerleri			Yaş CBR Değerleri		
	2.5 mm CBR (%)	5 mm CBR (%)	Seçilen CBR (%)	2.5 mm CBR (%)	5 mm CBR (%)	Seçilen CBR (%)
100 KA	101.13	152.21	152.21	107.24	148.56	148.56
100 DA	49.12	79.15	79.15	48.64	75.14	75.14
100 G	83.61	115.72	115.72	90.79	114.00	114.00
100 O	91.60	122.59	122.59	97.09	129.42	129.42
100 Z	98.19	127.36	127.36	82.40	133.77	133.77
75 KA 25 G	86.54	109.73	109.73	90.33	112.43	112.43
75 KA 25 O	79.68	105.35	105.35	77.04	94.94	94.94
75 KA 25 Z	65.85	104.30	104.30	64.72	102.71	102.71
50 KA 50 G	74.16	92.60	92.60	71.50	89.27	89.27
50 KA 50 O	82.33	100.63	100.63	74.25	109.13	109.13
50 KA 50 Z	83.52	96.37	96.37	71.62	92.01	92.01
25 KA 75 G	98.94	122.93	122.93	79.84	115.41	115.41
25 KA 75 O	84.83	115.74	115.74	88.36	120.56	120.56
25 KA 75 Z	80.82	117.77	117.77	82.55	127.67	127.67
75 DA 25 G	36.19	58.53	58.53	36.08	50.64	50.64
75 DA 25 O	36.15	55.65	55.65	27.71	49.46	49.46
75 DA 25 Z	49.95	67.41	67.41	69.49	75.06	75.06
50 DA 50 G	26.56	41.29	41.29	27.16	40.14	40.14
50 DA 50 O	25.43	41.07	41.07	26.07	47.33	47.33
50 DA 50 Z	23.70	34.29	34.29	19.86	32.55	32.55
25 DA 75 G	72.13	85.98	85.98	69.49	83.70	83.70
25 DA 75 O	57.80	82.58	82.58	54.28	75.07	75.07
25 DA 75 Z	60.08	94.36	94.36	70.10	92.69	92.69

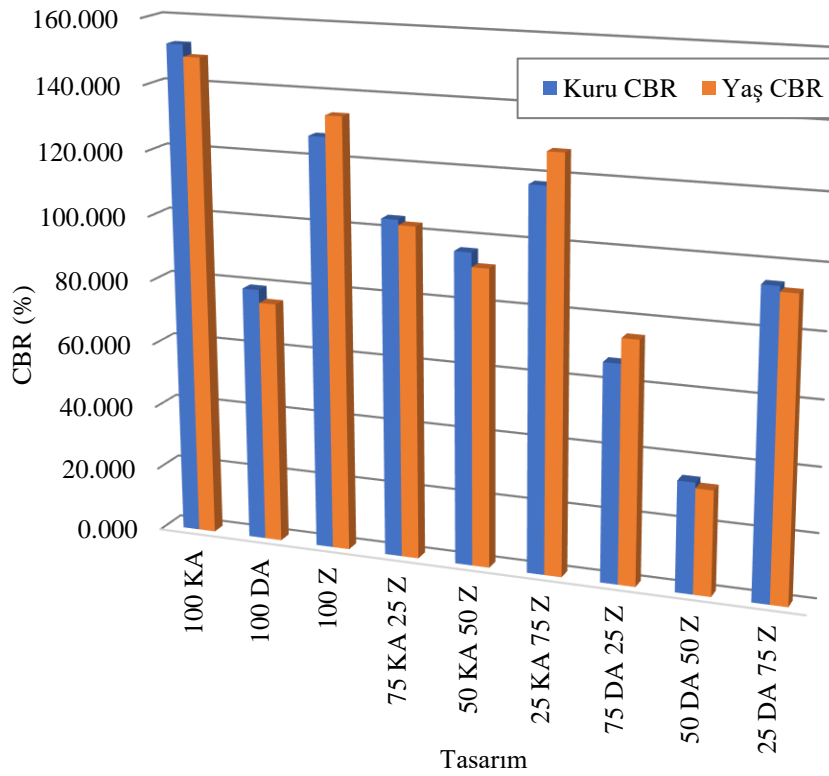
Yaş CBR değerlerinin KTSŞ'ye (2013) göre GYT için %100'den ve GYAT için %30'dan büyük olması istenmektedir. Buna göre, tasarım karışımlarının hepsi GYAT dayanım şartını sağlamakta olup, karışımların birçoğu ve 100 DA'lı tasarım numunesi GYT malzemesi olarak kullanılmaya dayanım kriteri açısından uygun değildir. %100 KA, 100 G, 100 O ve 100 Z ise başarılı bir şekilde hem GYT'de hem de GYAT'de kullanılabilir için gerekli dayanım şartını sağlamıştır. Bu durumda GDBA'lar KA ile kıyaslanabilecek derecede yüksek CBR değerlerine sahiptir (Cardoso ve ark., 2016).



a)



(b)



(c)

Şekil 4.4. Yaş ve kuru CBR değerlerinin karşılaştırması, a) KA - DA - G'li karışımlar, b) KA - DA - O'lu karışımlar, c) KA - DA - Z'li karışımlar

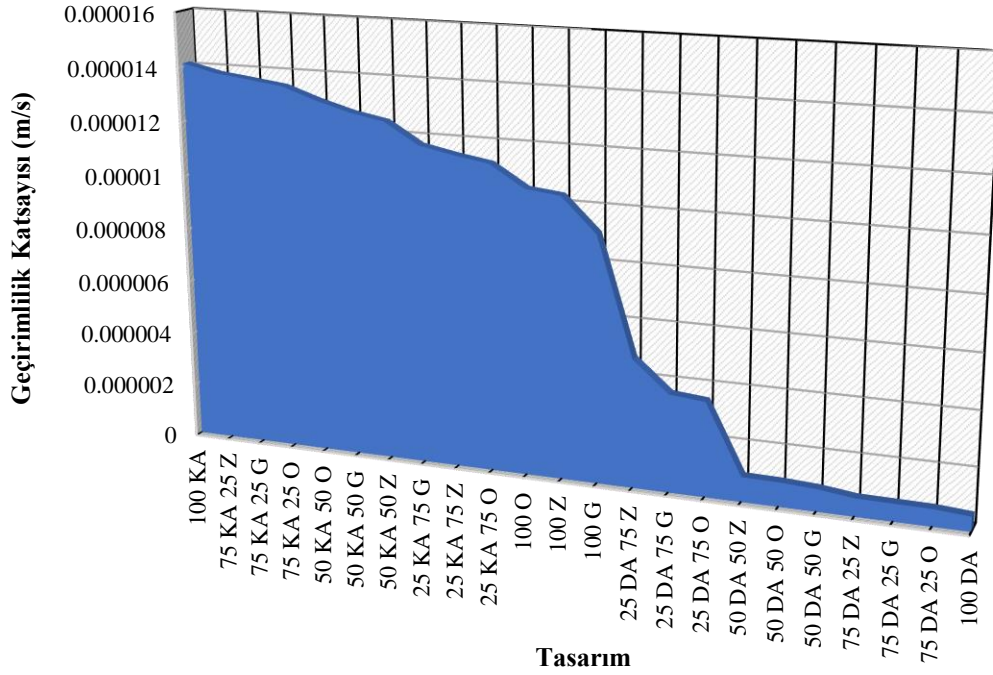
4.2.3. Geçirimsizlik deneylerinin sonuçları

23 farklı tasarım için Çizelge 4.9'da hesaplanan geçirimsizlik değerleri ve bu değerlerin "Materyal ve Yöntem" kısmında açıklanmış olan yöntemlerden hangisine göre yapıldığı görülmektedir. EK 4'te ayrıntılı sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde geçirimsizlik katsayılarının en yüksek olduğu tasarımın 1.411×10^{-5} m/s değeriyle 100 KA olduğu belirlenmiştir. En düşük geçirimsizlik katsayısı ise 5.435×10^{-7} m/s değeriyle 100 DA'da elde edilmiştir. Geçirimsizliğin 100 DA'da en düşük olmasının nedeni; malzemelerin gradasyonlarında ince malzeme oranlarının çok fazla fark etmemesine rağmen, 100 DA tasarımının ince tanelerinin plastik özellikte olması ve taneciklerin mineral yapısının kil minerallerinden oluşmasıdır. Buna göre plastik özellikte olan malzeme su ile etkileşime girmiş, kıvam almış, bir miktar hacim artışına uğramış ve numune matrisi içinde bazı boşlukların tıkanmasına veya azalmasına neden olmuştur. KA ve GDBA'ları oluşturan ince taneli malzeme kısmı silt yapısına yakındır ve "NP" özelliktedir. Bu nedenle tanecikler herhangi bir hacim artışına uğramamakta ve su geçişine engel teşkil etmemektedir. GDBA'larda geçirimsizlik katsayıları 100 G, 100 O ve 100 Z'de sırasıyla 9.090×10^{-6} m/s, 1.048×10^{-5} m/s ve 1.035×10^{-5} m/s olarak elde edilmiştir. Bazı araştırmacılar GDBA'lar için geçirimsizlik katsayılarını 2.67×10^{-3} m/s (Poon ve ark., 2006), 3.3×10^{-8} m/s (Arulrajah ve ark., 2012), 1.6×10^{-5} m/s - 2.6×10^{-5} m/s (Nokkaew ve ark., 2012) olarak elde etmişlerdir. Literatürdeki geçirimsizlik katsayı değerleri arasındaki fark çok fazla olmakla beraber bu çalışmada elde edilen geçirimsizlik katsayılarının literatürdeki sonuçların sınırları içerisinde kaldığı görülmüştür. GDBA'lar ve 100 KA arasında genel olarak çok büyük farklar görülmesi de GDBA'larda geçirimsizlik değerlerinin 100 KA'ya göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bu da GDBA'ların sahip olduğu yapışık çimento harcı nedeniyle hidrofil hale gelmesi (Edil, 2012) ve suyu tutma eğiliminde olmasıyla açıklanabilir. Karışım tasarımlarında ise DA'nın oran olarak yüksek olduğu tasarımlarda geçirimsizlik katsayılarında genel olarak azalma ve KA'nın oran olarak yüksek olduğu tasarımlarda ise genel olarak geçirimsizlik katsayılarında artma gözlenmiştir. Fakat DA'nın geçirimsizlik üzerindeki etkisi karışımlarda DA oranlarının değişimine bağlı olarak gözle görülür fark oluşturmuş ve karışımların geçirimsizlik özelliklerini çok fazla değiştirmiştir. Şekil 4.5'te Geçirimsizlik katsayılarının tasarımlara göre değişimi görülmektedir. AASHTO (1993) kaplama tasarım yönteminde doğrudan kalınlık hesabında kullanılan drenaj katsayılarının belirlenmesinde GYT ve GYAT için kullanılan malzemelerin suyu drene edebilme

kabiliyetleri önemli bir rol oynamaktadır. GDBA'ların geçirimsizlik katsayılarının KA'ya yakın ve genel olarak yüksek değerler almış olması bunların GYT ve GYAT'de kullanıldıklarında suyu drene kabiliyetlerinin yüksek olacağını göstermektedir. Bu durum GDBA'ların hem KA ile karıştırılarak hem de tek başlarına GYT ve GYAT'de kullanıldığında yüzey suyunun drene edilmesi bakımından bir sorun teşkil etmeyeceğini göstermektedir.

Çizelge 4.9. Geçirimsizlik deneylerinin sonuçları

Tasarım	Deney Yöntemi	Geçirimsizlik Katsayısı (m/s)
100 KA	Sabit Seviyeli	1.411x10 ⁻⁵
100 DA	Düşen Seviyeli	5.435x10 ⁻⁷
100 G	Sabit Seviyeli	9.090x10 ⁻⁶
100 O	Sabit Seviyeli	1.048x10 ⁻⁵
100 Z	Sabit Seviyeli	1.035x10 ⁻⁵
75 KA 25 G	Sabit Seviyeli	1.367x10 ⁻⁵
75 KA 25 O	Sabit Seviyeli	1.351x10 ⁻⁵
75 KA 25 Z	Sabit Seviyeli	1.383x10 ⁻⁵
50 KA 50 G	Sabit Seviyeli	1.273x10 ⁻⁵
50 KA 50 O	Sabit Seviyeli	1.308x10 ⁻⁵
50 KA 50 Z	Sabit Seviyeli	1.250x10 ⁻⁵
25 KA 75 G	Sabit Seviyeli	1.173x10 ⁻⁵
25 KA 75 O	Sabit Seviyeli	1.127x10 ⁻⁵
25 KA 75 Z	Sabit Seviyeli	1.148x10 ⁻⁵
75 DA 25 G	Düşen Seviyeli	6.525x10 ⁻⁷
75 DA 25 O	Düşen Seviyeli	6.373x10 ⁻⁷
75 DA 25 Z	Düşen Seviyeli	6.681x10 ⁻⁷
50 DA 50 G	Düşen Seviyeli	8.260x10 ⁻⁷
50 DA 50 O	Düşen Seviyeli	8.978x10 ⁻⁷
50 DA 50 Z	Düşen Seviyeli	9.189x10 ⁻⁷
25 DA 75 G	Sabit Seviyeli	3.616x10 ⁻⁶
25 DA 75 O	Sabit Seviyeli	3.496x10 ⁻⁶
25 DA 75 Z	Sabit Seviyeli	4.732x10 ⁻⁶



Şekil 4.5. Geçirimsizlik katsayılarının tasarımlara göre değişimi

4.2.4. Esneklik modülü ve kalıcı deformasyon deney sonuçları

23 farklı tasarım için AASHTO T307-99'a (2012) uygun olarak gerçekleştirilen esneklik modeli deney sonuçları EK 5'te ayrıntılı olarak her 15 adım için verilmiştir. Buradaki deney sonuçları kullanılarak oluşturulan AASHTO, Uzan (1985) ve MEPDG modellerine göre 23 farklı tasarım için esneklik modüllerinin denklemleri Çizelge 4.10'da verilmiştir. Elde edilen model denklemleri kullanılarak, sırasıyla 107, 140 ve 208 kPa toplam gerilme değerleri için esneklik modülü değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.11). Uzan (1985) modelinde 107, 140 ve 208 kPa toplam gerilme için σ_3 değerleri sırasıyla 22, 35 ve 35 kPa; σ_d değerleri sırasıyla 41, 35 ve 103 kPa olarak seçilmiştir. Bu seçimler AASHTO T307-99'da (2012) deney prosedüründe var olan σ_3 ve σ_d değerlerine ve σ_d/σ_3 oranının sırasıyla 2, 1 ve 3 değerlerine yakın olması amaçları ile seçilmiştir. Böylece yanal ve düşey gerilmelerin farklı seviyelerinde esneklik modülünün değişimi incelenmiştir. MEPDG modelinde 107, 140 ve 208 kPa toplam gerilme için σ_3 değerleri sırasıyla 22, 35 ve 35 kPa; σ_d değerleri sırasıyla 41, 35 ve 103 kPa olarak seçilerek, bu değerler için Eşitlik 4.1'e göre hesaplanan 19.33, 16.50, 48 kPa τ_{oct} değerleri kullanılmıştır. τ_{oct} değeri görüldüğü üzere hem σ_3 hem de σ_d değerlerine bağlıdır. Böylece hem Uzan (1985) hem de MEPDG modellerinde aynı hücre basınçları ve düşey gerilmeler için esneklik modülü

hesaplanmış olup, bu durum bu iki modelin hesapladığı esneklik modülü değerlerinin karşılaştırılmasına olanak sağlamıştır. 107 kPa toplam gerilme için MEPDG modeline göre 100 KA, 100 DA, 100 G, 100 O ve 100 Z’de sırasıyla 141.203 MPa, 298.777 MPa, 140.992 MPa, 152.130 MPa ve 55.053 MPa esneklik modülleri elde edilmiştir. 140 kPa toplam gerilme için MEPDG modeline göre 100 KA, 100 DA, 100 G, 100 O ve 100 Z’de sırasıyla 206.208 MPa, 371.508 MPa, 173.457 MPa, 191.638 MPa ve 77.211 MPa esneklik modülleri elde edilmiştir. 208 kPa toplam gerilme için MEPDG modeline göre 100 KA, 100 DA, 100 G, 100 O ve 100 Z’de sırasıyla 252.813 MPa, 360.622 MPa, 222.122 MPa, 261.353 MPa ve 120.211 MPa esneklik modülleri elde edilmiştir. Bu diğer iki model için de aynı toplam gerilmeler için esneklik modülü değerleri birbirine benzerdir. Önceki çalışmalarda GDBA’larda 91 MPa - 295 MPa (Bestgen ve ark., 2016), 490 MPa - 1020 MPa (Gabr ve Cameron, 2012) esneklik modülü değerleri elde edilmiştir. Karışım tasarımlarında ise, tasarımlardaki GDBA içeriğine veya türüne bağlı olacak şekilde bir ilişki tespit edilememiştir. Bazı karışım tasarımlarında malzemelerin saf hallerine göre yüksek esneklik modülü değerleri elde edilmişken bazılarında oldukça yüksek esneklik modülü değerleri bulunmuştur. Karışım tasarımlarında saf hal tasarımlarına göre daha düşük esneklik modülü değerlerinin elde edilmesi ise, taneler arasındaki kötü yerleşimden kaynaklanmıştır (Tutumluer ve Pan, 2008; Kazmee ve ark., 2012). KA’nın esneklik modülü değerlerinin GDBA’ların esneklik modülü değerlerine yakın olması, GDBA’ların esneklik modülü davranışlarının KA ile aynı ya da KA’ya yakın derecede olduğunu göstermektedir (Nataatmadja ve Tan, 2001).

Çizelge 4.10. Esneklik modülü için oluşturulan modellerin denklemleri

Tasarım	AASHTO Modeli	Uzan Modeli	MEPDG Modeli
100 KA	$2541.2490 \times (\theta)^{0.8974}$	$\sigma_{atm} \times 813.952 \times (\theta/\sigma_{atm})^{1.4033} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{-0.5187}$	$\sigma_{atm} \times 1630.0022 \times (\theta/\sigma_{atm})^{1.2938} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-1.3017}$
100 DA	$53927.9952 \times (\theta)^{0.3831}$	$\sigma_{atm} \times 1728.0785 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.8328} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{-0.5013}$	$\sigma_{atm} \times 3555.9844 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.6967} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-1.2894}$
100 G	$1234.4314 \times (\theta)^{0.7727}$	$\sigma_{atm} \times 16031.6974 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.1332} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.5473}$	$\sigma_{atm} \times 1386.2806 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.7521} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-0.2129}$
100 O	$1371.3891 \times (\theta)^{0.8626}$	$\sigma_{atm} \times 11011.1427 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.1921} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.6203}$	$\sigma_{atm} \times 1461.2191 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.8492} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-0.1094}$
100 Z	$613.4030 \times (\theta)^{1.2403}$	$\sigma_{atm} \times 3137.2523 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.1426} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.8828}$	$\sigma_{atm} \times 526.1988 \times (\theta/\sigma_{atm})^{1.2403} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-0.2039}$

Çizelge 4.10. Esneklik modülü için oluşturulan modellerin denklemleri (devamı)

Tasarım	AASHTO Modeli	Uzan Modeli	MEPDG Modeli
75 KA 25 G	$2615.2080 \times (\theta)^{0.4274}$	$\sigma_{atm} \times 63396.5663 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.1377} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.3024}$	$\sigma_{atm} \times 2577.0658 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.4417} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-0.0083}$
75 KA 25 O	$2493.5023 \times (\theta)^{0.3131}$	$\sigma_{atm} \times 67918.2558 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.1551} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.2250}$	$\sigma_{atm} \times 2262.1524 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.3176} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{0.2149}$
75 KA 25 Z	$1101.2864 \times (\theta)^{0.9799}$	$\sigma_{atm} \times 11021.5919 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.0938} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.7068}$	$\sigma_{atm} \times 1388.9815 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.9691} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-0.5174}$
50 KA 50 G	$823.0934 \times (\theta)^{1.2205}$	$\sigma_{atm} \times 9544.0931 \times (\theta/\sigma_{atm})^{-0.0372} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.8794}$	$\sigma_{atm} \times 1332.2456 \times (\theta/\sigma_{atm})^{1.1899} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-1.0514}$
50 KA 50 O	$1220.3447 \times (\theta)^{1.0567}$	$\sigma_{atm} \times 12508.4845 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.0745} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.7439}$	$\sigma_{atm} \times 1647.2948 \times (\theta/\sigma_{atm})^{1.0300} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-0.6317}$
50 KA 50 Z	$1252.1955 \times (\theta)^{0.9572}$	$\sigma_{atm} \times 16060.0013 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.0618} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.6778}$	$\sigma_{atm} \times 1651.1484 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.8992} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-0.4789}$
25 KA 75 G	$1700.2875 \times (\theta)^{0.7022}$	$\sigma_{atm} \times 19576.0773 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.1850} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.5004}$	$\sigma_{atm} \times 1729.1160 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.6805} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{0.0255}$
25 KA 75 O	$1679.3074 \times (\theta)^{0.6797}$	$\sigma_{atm} \times 57077.3438 \times (\theta/\sigma_{atm})^{-0.0436} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.4878}$	$\sigma_{atm} \times 2324.8944 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.6235} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-0.5940}$
25 KA 75 Z	$1519.0927 \times (\theta)^{0.7300}$	$\sigma_{atm} \times 31484.9876 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.0444} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.5221}$	$\sigma_{atm} \times 1888.7856 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.6756} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-0.3463}$
75 DA 25 G	$1541.5265 \times (\theta)^{0.8462}$	$\sigma_{atm} \times 27737.2546 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.0320} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.6007}$	$\sigma_{atm} \times 2049.3380 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.8151} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-0.5760}$
75 DA 25 O	$2120.7432 \times (\theta)^{0.5775}$	$\sigma_{atm} \times 21384.2479 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.2708} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.4049}$	$\sigma_{atm} \times 1847.6436 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.5974} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{0.2644}$
75 DA 25 Z	$1725.1303 \times (\theta)^{0.7690}$	$\sigma_{atm} \times 25626.7088 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.1016} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.5493}$	$\sigma_{atm} \times 2026.2900 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.7687} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-0.3793}$
50 DA 50 G	$2083.0684 \times (\theta)^{0.6361}$	$\sigma_{atm} \times 34290.6270 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.1275} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.4605}$	$\sigma_{atm} \times 2223.7575 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.6190} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-0.1017}$
50 DA 50 O	$869.7890 \times (\theta)^{1.1186}$	$\sigma_{atm} \times 4733.4907 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.1742} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.8007}$	$\sigma_{atm} \times 1036.2382 \times (\theta/\sigma_{atm})^{1.0901} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-0.3278}$
50 DA 50 Z	$1539.3567 \times (\theta)^{0.6616}$	$\sigma_{atm} \times 19354.5208 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.1835} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.4701}$	$\sigma_{atm} \times 1546.4167 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.6441} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{0.0421}$
25 DA 75 G	$1826.8336 \times (\theta)^{0.6384}$	$\sigma_{atm} \times 34741.7582 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.1028} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{0.4544}$	$\sigma_{atm} \times 2020.4798 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.6007} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-0.1241}$
25 DA 75 O	$466.0545 \times (\theta)^{1.4516}$	$\sigma_{atm} \times 1953.9480 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.0999} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{1.0329}$	$\sigma_{atm} \times 676.8179 \times (\theta/\sigma_{atm})^{1.4219} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-0.8014}$
25 DA 75 Z	$266.2511 \times (\theta)^{1.6817}$	$\sigma_{atm} \times 655.8352 \times (\theta/\sigma_{atm})^{0.1285} \times (\sigma_d/\sigma_{atm})^{1.1901}$	$\sigma_{atm} \times 391.9880 \times (\theta/\sigma_{atm})^{1.6748} \times (\tau_{oct}/\sigma_{atm} + 1)^{-0.9160}$

Çizelge 4.11. Modellerin farklı gerilmelere göre esneklik modülü tahminleri, **a)** Toplam gerilmenin 107 kPa olması durumu, **b)** Toplam gerilmenin 140 kPa olması durumu, **c)** Toplam gerilmenin 208 kPa olması durumu

(a)

Tasarım	AASHTO Modeli M _r (kPa)	Uzan Modeli M _r (kPa)	MEPDG Modeli M _r (kPa)
100 KA	168377.47	142345.99	141203.09
100 DA	323113.49	288346.31	298777.35
100 G	144237.20	141403.52	140992.54
100 O	154648.16	152292.40	152130.76
100 Z	86691.85	79972.55	55053.27
75 KA 25 G	267226.60	268016.90	267058.58
75 KA 25 O	238830.69	242128.48	242090.77
75 KA 25 Z	147799.03	138278.04	135553.24
50 KA 50 G	148227.57	125162.34	119881.21
50 KA 50 O	174826.92	161512.06	158111.17
50 KA 50 Z	168652.93	162156.56	161605.11
25 KA 75 G	182023.41	181338.07	182619.26
25 KA 75 O	232915.16	218594.30	219678.16
25 KA 75 Z	192728.39	185507.69	186891.74
75 DA 25 G	210987.27	197582.68	196299.97
75 DA 25 O	196961.58	202048.58	202526.54
75 DA 25 Z	206938.03	202596.77	200364.81
50 DA 50 G	231310.72	228477.34	228930.36
50 DA 50 O	111612.75	106092.51	105226.32
50 DA 50 Z	162707.98	162507.12	163471.15
25 DA 75 G	209341.50	206042.25	206983.87
25 DA 75 O	79457.67	67361.32	64433.68
25 DA 75 Z	49922.40	40221.08	37087.97

(b)

Tasarım	AASHTO Modeli M _r (kPa)	Uzan Modeli M _r (kPa)	MEPDG Modeli M _r (kPa)
100 KA	214315.79	225328.17	206208.30
100 DA	358166.24	390471.88	371508.81
100 G	173617.37	176517.76	173457.11
100 O	192472.86	193542.95	191638.07
100 Z	114275.63	115278.90	77211.45
75 KA 25 G	300736.72	300029.47	300786.38
75 KA 25 O	264021.94	260664.97	262328.47
75 KA 25 Z	183138.02	185091.15	178064.68
50 KA 50 G	184604.40	184390.83	169240.55
50 KA 50 O	217831.04	222577.47	211699.87
50 KA 50 Z	207191.38	216950.56	208143.75
25 KA 75 G	219025.49	219510.59	219144.39
25 KA 75 O	263333.36	272403.24	263449.31
25 KA 75 Z	225281.47	231604.32	225960.88
75 DA 25 G	250644.05	256384.86	247747.94

(b) (devamı)

Tasarım	AASHTO Modeli M _r (kPa)	Uzan Modeli M _r (kPa)	MEPDG Modeli M _r (kPa)
75 DA 25 O	236141.55	232176.21	236318.26
75 DA 25 Z	247342.16	253772.22	248583.38
50 DA 50 G	271073.52	273212.98	271032.24
50 DA 50 O	145167.78	146465.95	142156.24
50 DA 50 Z	194109.95	194311.11	194176.38
25 DA 75 G	243739.48	247733.96	243977.02
25 DA 75 O	106881.02	104433.66	96243.36
25 DA 75 Z	70271.30	66702.98	59456.04

(c)

Tasarım	AASHTO Modeli M _r (kPa)	Uzan Modeli M _r (kPa)	MEPDG Modeli M _r (kPa)
100 KA	305741.68	224346.37	252813.86
100 DA	416831.15	316054.19	360622.14
100 G	228125.12	217696.61	222122.72
100 O	265654.60	258191.01	261353.01
100 Z	171651.48	151153.12	120211.85
75 KA 25 G	357889.21	360373.11	357559.09
75 KA 25 O	306039.99	316755.60	313019.57
75 KA 25 Z	251131.91	225109.52	231181.88
50 KA 50 G	255043.64	199380.83	211297.36
50 KA 50 O	301151.06	263376.07	274033.86
50 KA 50 Z	280545.26	251667.37	265263.23
25 KA 75 G	287644.39	285382.58	288642.49
25 KA 75 O	315511.73	276316.76	292928.82
25 KA 75 Z	283496.86	259482.24	271989.87
75 DA 25 G	323013.68	286051.18	298449.61
75 DA 25 O	308469.20	326057.37	318727.39
75 DA 25 Z	321643.17	303299.22	308037.29
50 DA 50 G	342410.36	333207.09	338058.78
50 DA 50 O	213793.42	196585.07	202513.82
50 DA 50 Z	251720.13	250978.84	253084.14
25 DA 75 G	304951.93	292540.02	300516.77
25 DA 75 O	165401.38	133473.30	139756.87
25 DA 75 Z	116266.86	89926.95	92871.46

$$\tau_{\text{oct}} = (1/3) \times [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]^{(1/2)} \quad (4.1)$$

Modellerin regresyon analizi sonucunda elde edilen denklemlerinin regresyon katsayıları ve R² değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir. AASHTO modelinin R² değerlerinin diğer iki modelin R² değerlerinden genel olarak düşük olduğu görülmektedir. Bu durum AASHTO modelinin gerilme durumunu toplam gerilme olarak ele alması nedeniyle yanal ve düşey etkileri ayrı ayrı yansıtamamasından kaynaklanmış olabilir.

Diğer iki modelde R^2 değerlerinin genel olarak daha yüksek olduğu görülmektedir; çünkü bu modellerde yanal ve düşey gerilmeler, modellerin içerdikleri bağımsız değişkenler (σ_a ve τ_{oct}) aracılığıyla hesaplamalara ayrı ayrı katılmışlardır. AASHTO modelinde k_1 ve k_2 katsayılarının pozitif olması, malzemelerin granüler olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.12. Esneklik modülü modellerinin regresyon katsayıları ve R^2 değerleri, a) AASHTO modeli, b) Uzan modeli, c) MEPDG modeli

(a)

Tasarım	AASHTO Modeli Katsayıları ve Model Bileşenleri		
	k_1	k_2	R^2
100 KA	2541.2490	0.8974	0.736
100 DA	53927.9952	0.3831	0.427
100 G	1234.4314	0.7727	0.945
100 O	1371.3891	0.8626	0.965
100 Z	613.4030	1.2403	0.953
75 KA 25 G	2615.2080	0.4274	0.915
75 KA 25 O	2493.5023	0.3131	0.652
75 KA 25 Z	1101.2864	0.9799	0.905
50 KA 50 G	823.0934	1.2205	0.791
50 KA 50 O	1220.3447	1.0567	0.870
50 KA 50 Z	1252.1955	0.9572	0.652
25 KA 75 G	1700.2875	0.7022	0.955
25 KA 75 O	1679.3074	0.6797	0.670
25 KA 75 Z	1519.0927	0.7300	0.883
75 DA 25 G	1541.5265	0.8462	0.853
75 DA 25 O	2120.7432	0.5775	0.898
75 DA 25 Z	1725.1303	0.7690	0.897
50 DA 50 G	2083.0684	0.6361	0.964
50 DA 50 O	869.7890	1.1186	0.964
50 DA 50 Z	1539.3567	0.6616	0.983
25 DA 75 G	1826.8336	0.6384	0.889
25 DA 75 O	466.0545	1.4516	0.948
25 DA 75 Z	266.2511	1.6817	0.942

(b)

Tasarım	Uzan Modeli Katsayıları ve Model Bileşenleri			
	k_1	k_2	k_3	R^2
100 KA	813.9532	1.4033	-0.5187	0.854
100 DA	1728.0785	0.8328	-0.5013	0.673
100 G	16031.6974	0.1332	0.5473	0.952
100 O	11011.1427	0.1921	0.6203	0.967
100 Z	3137.2523	0.1426	0.8828	0.974
75 KA 25 G	63396.5663	0.1377	0.3024	0.915
75 KA 25 O	67918.2558	0.1551	0.2250	0.660
75 KA 25 Z	11021.5919	0.0938	0.7068	0.929
50 KA 50 G	9544.0391	-0.0372	0.8794	0.881

(b) (devamı)

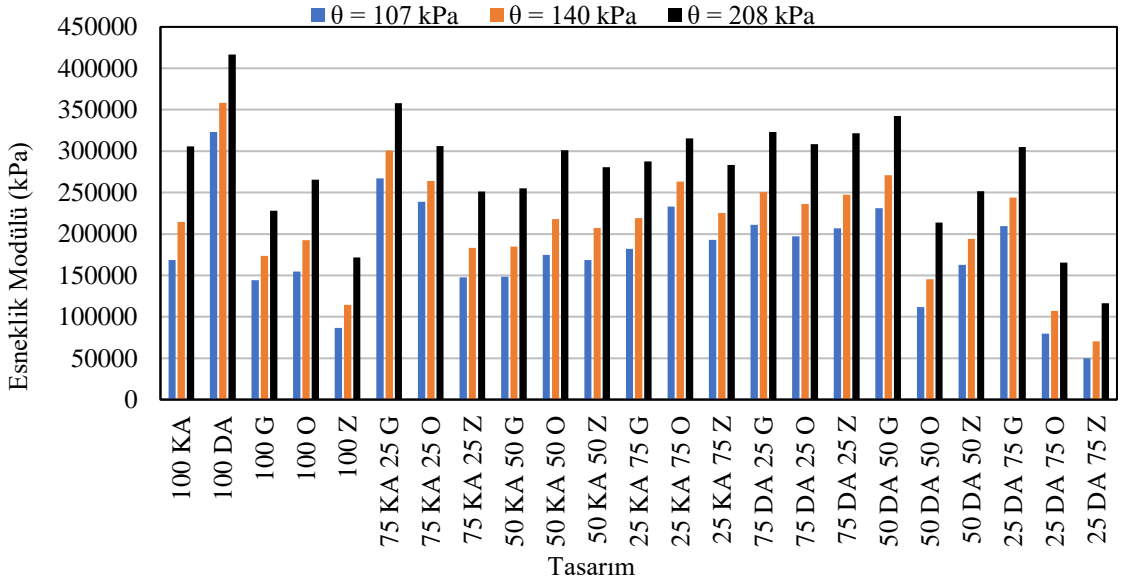
Tasarım	Uzan Modeli Katsayıları ve Model Bileşenleri			
	k ₁	k ₂	k ₃	R ²
50 KA 50 O	12508.4845	0.0745	0.7439	0.904
50 KA 50 Z	16060.0013	0.0618	0.6778	0.674
25 KA 75 G	19576.0773	0.1850	0.5004	0.956
25 KA 75 O	57077.3478	-0.0436	0.4878	0.751
25 KA 75 Z	31484.9876	0.0444	0.5221	0.914
75 DA 25 G	27737.2546	0.0320	0.6007	0.896
75 DA 25 O	21384.2479	0.2708	0.4049	0.907
75 DA 25 Z	25626.7088	0.1016	0.5493	0.908
50 DA 50 G	34290.6270	0.1275	0.4605	0.967
50 DA 50 O	4733.4907	0.1742	0.8007	0.975
50 DA 50 Z	19354.5208	0.1835	0.4701	0.983
25 DA 75 G	34741.7582	0.1028	0.4544	0.896
25 DA 75 O	1953.9480	0.0999	1.0329	0.991
25 DA 75 Z	655.8352	0.1285	1.1901	0.982

(c)

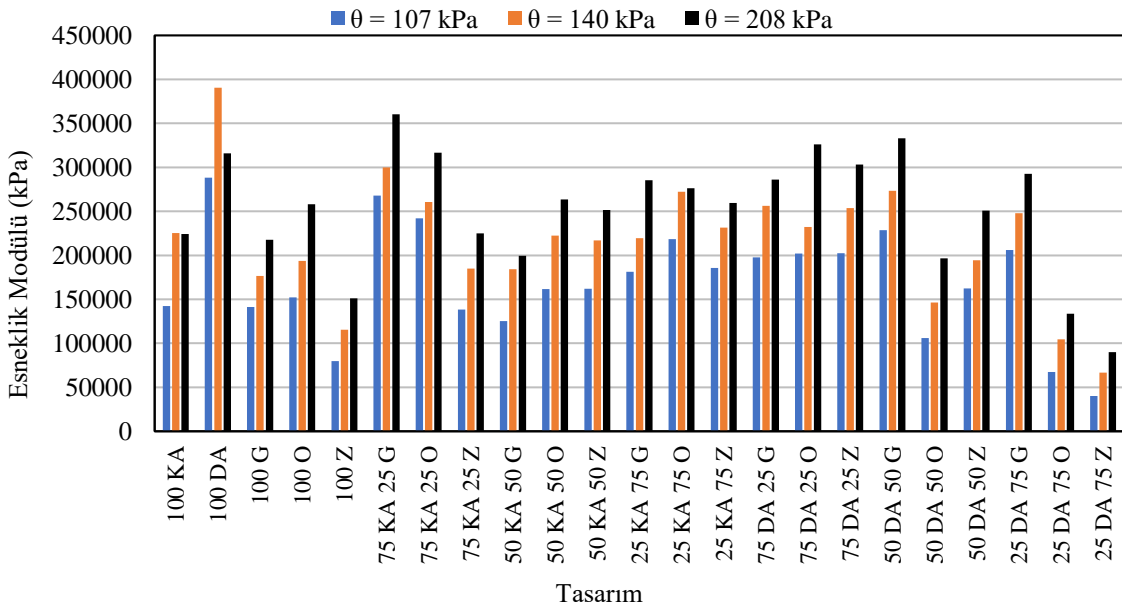
Tasarım	MEPDG Modeli Katsayıları ve Model Bileşenleri			
	k ₁	k ₂	k ₃	R ²
100 KA	1630.0022	1.2938	-1.3017	0.846
100 DA	3555.9844	0.6967	-1.2894	0.635
100 G	1386.2806	0.7521	-0.2129	0.951
100 O	1461.2191	0.8492	-0.1094	0.966
100 Z	526.1988	1.2403	-0.2039	0.974
75 KA 25 G	2577.0658	0.4417	-0.0083	0.915
75 KA 25 O	2262.1524	0.3176	0.2149	0.663
75 KA 25 Z	1388.9815	0.9691	-0.5174	0.934
50 KA 50 G	1332.2456	1.1899	-1.0514	0.895
50 KA 50 O	1647.2948	1.0300	-0.6317	0.908
50 KA 50 Z	1651.1484	0.8992	-0.4789	0.719
25 KA 75 G	1729.1160	0.6805	0.0255	0.955
25 KA 75 O	2324.8944	0.6235	-0.5940	0.738
25 KA 75 Z	1888.7856	0.6756	-0.3463	0.902
75 DA 25 G	2049.3380	0.8151	-0.5760	0.899
75 DA 25 O	1847.6436	0.5974	0.2644	0.907
75 DA 25 Z	2026.2900	0.7687	-0.3793	0.914
50 DA 50 G	2223.7575	0.6190	-0.1017	0.966
50 DA 50 O	1036.2382	1.0901	-0.3278	0.973
50 DA 50 Z	1546.4167	0.6441	0.0421	0.983
25 DA 75 G	2020.4798	0.6007	-0.1241	0.891
25 DA 75 O	676.8179	1.4219	-0.8014	0.993
25 DA 75 Z	391.9880	1.6748	-0.9160	0.988

AASHTO, Uzan (1985) ve MEPDG modellerine göre bulunan esneklik modülü değerlerinin değişimleri Şekil 4.6'da her bir tasarım için verilmiştir. Buna göre toplam gerilme arttıkça esneklik modülü değerlerinde artış gözlenmiştir. Bunun nedeni granüler

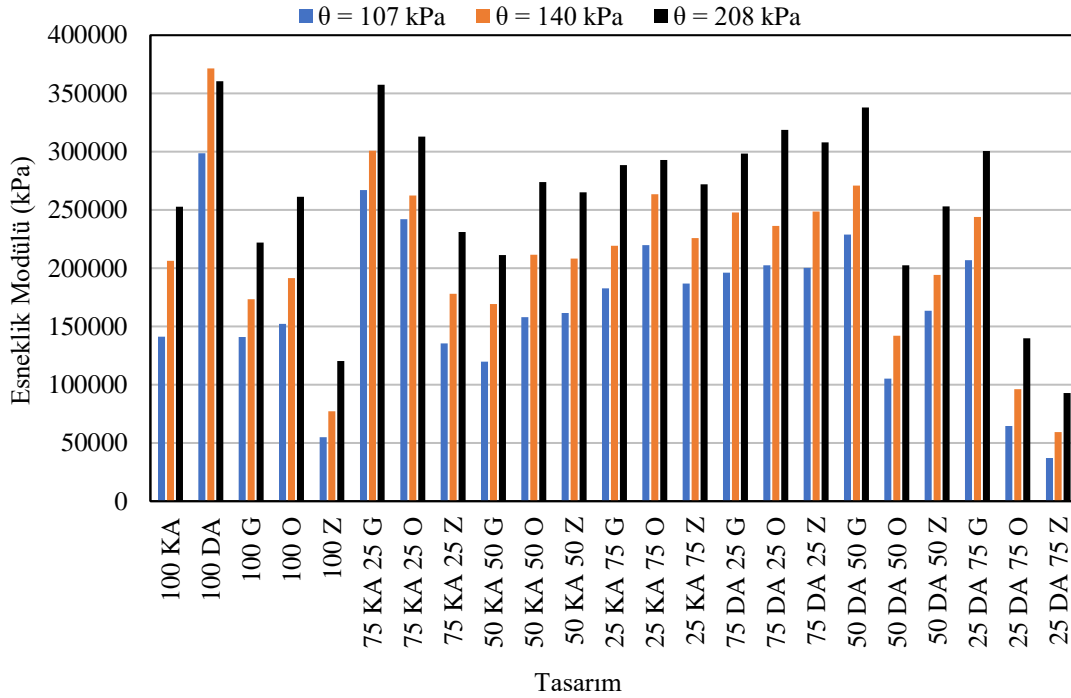
malzemelerin gerilmeye bağı olarak pekleşme göstermeleridir(Arulrajah ve ark., 2013; Haider ve ark., 2014). Artan gerilmeyle beraber boşlukların azalması ile taneler arasında daha iyi sürtünme meydana gelmesi malzemenin esneklik modülünün de artmasına neden olmaktadır (Kim ve ark., 2013). İnce taneli malzemelerin, özellikle killi - siltli olanlarda, gerilme artışı ile esneklik modüllerinde ya değişiklik meydana gelmemekte veya düşük miktarlarda artış meydana gelmektedir. Bu nedenle ince tanelerin miktarı bağlayıcı olmayan malzemelerin esneklik modülü davranışında etkilidir (Yau ve Von Quintus, 2002).



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.6. Farklı toplam gerilmelere göre esneklik modüllerinin karşılaştırması, a) AASHTO modeli esneklik modülleri, b) Uzan modeli esneklik modülleri, c) MEPDG modeli esneklik modülleri

23 farklı tasarım için yapılan 12500 çevrimlik TYÜEBD sonucunda elde edilen kalıcı deformasyon değerleri ve tasarımların kalıcı deformasyon davranışlarının Tutumluer ve Pan (2008) modeline göre regresyon katsayıları ile R^2 değerleri Çizelge 4.13'te gösterilmiştir. Tutumluer ve Pan (2008) modeli gerilmelerin kademeli olarak değiştiği 2400. çevrimden sonraki 10100 çevrim için uygulanmıştır. Bu 10100 çevrim, esneklik modülü deneyinin son aşamasındaki çevre basıncı ve deviyör gerilmeye göre yapıldığından gerilmelerin sabit kaldığı çevrimlerdir. Tutumluer ve Pan (2008) modeli gerilmeye bağlı bir değişken içermediğinden, sabit gerilmeler altında en fazla çevrim sayısına sahip 10100 çevrimin modellenmesi daha uygun bulunmuştur. Bu çizelgedeki kalıcı deformasyonlar eklenik olup, 12500 yükleme çevrimi sonucunda elde edilen toplam değerdir. Önceki bazı çalışmalarda GDBA'larda %0.35 - %2.30 arasında (Molin ve ark., 2004), %0.1 - %0.2 arasında (Haider ve ark., 2014) kalıcı deformasyon değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmada en düşük kalıcı deformasyonlar sırasıyla %0.204 ile 100 KA'da ve %0.231 ile 100 DA'da elde edilmiştir. Bu malzemelerin trafik yükleri gibi sürekli yükler altında daha dayanıklı ve daha az deforme olacağı söylenebilir. 100 G, 100 O ve 100 Z'de sırasıyla %0.371, %0.349 ve %0.380 kalıcı deformasyon değerleri elde edilmiştir. Bunun nedenlerinden biri GDBA tanelerinin daha az dirençli olması olabilir.

Kalıcı deformasyonların GDBA'larda artmasına sebep olan bir diğer etken ise tanelerin pürüzlü olmasına neden olan yapışık harcın deney sırasında kırılıp ayrışması (Bestgen ve ark., 2016) ve böylece ince tanelerin artması ile kalıcı deformasyonların artmasıdır (Mishra ve Tutumluer, 2012). Daha olası sebep ise yapışık çimento harcının TYÜEBD esnasında GDBA'daki agrega tanesinden ayrılması sonucu, GDBA'daki ince tane miktarını arttırmasıdır. İnce tane miktarının artması ise kalıcı deformasyonları arttırmaktadır. Tüm tasarımların kalıcı deformasyon davranışının Tutumluer ve Pan (2008) modeline uygun olduğu, her tasarım için bu modele göre yüksek R^2 değerleri (0.94'ten büyük) elde edilmesiyle belirlenmiştir.

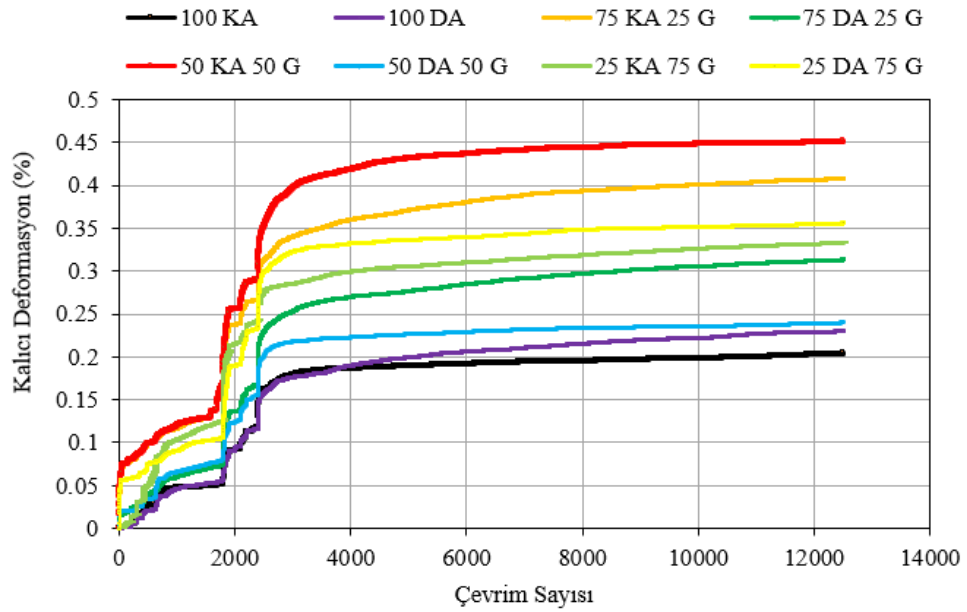
Tutumluer ve Pan'ın (2008) gözlemlediği gibi bu tez çalışmasında da karışımlarda genel olarak daha yüksek kalıcı deformasyonlar elde edilmiştir. Kalıcı deformasyonları tane boyutu dağılımı, tane yerleşimi ve tane temas alanı etkilediğinden; bazı karışımlarda taneciklerin kötü yerleşmesi kalıcı deformasyonların artmasının sebebi olabilir. Çünkü kalıcı deformasyonlar tane yerleşimine oldukça fazla bağlıdır (Haider ve ark., 2014). En yüksek kalıcı deformasyon değerinin %0.509 ile 25 KA 75 O tasarımında elde edilmesi bu durumun bir göstergesidir. Bazı karışımlarda ise saf GDBA'lı olan karışımlara göre daha düşük kalıcı deformasyonlar elde edilmiştir. Bu durum ise tane yerleşiminin kötü olmasından ziyade saf hali daha az kalıcı deformasyon yapan malzemenin varlığından kaynaklanmaktadır; çünkü bu malzemeler zaten saf halleri oldukça düşük kalıcı deformasyon değerlerine sahip olduklarından, karışımın genel olarak yüksek kalıcı deformasyon yapma kabiliyetini kısıtlamıştır. Şekil 4.7'de karşılaştırmalı olarak tasarımların kalıcı deformasyonları verilmiştir.

Çizelge 4.13. TYÜEBD sonucunda elde edilen kalıcı deformasyonlar ile Tutumluer ve Pan (2008) modeli bileşenleri

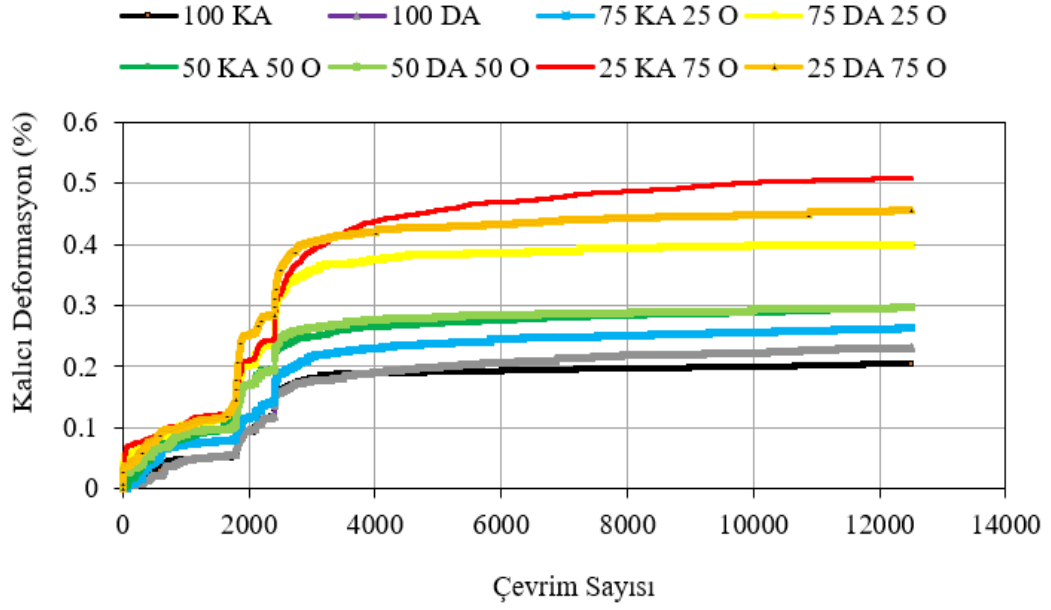
Tasarım	Toplam Kalıcı Deformasyon (%)	2400 - 12500 Arasındaki Toplam Kalıcı Deformasyon (%)	α	b	R^2
100 KA	0.204	0.0735	0.01859	0.14596	0.967
100 DA	0.231	0.0946	0.00652	0.28939	0.989
100 G	0.371	0.1644	0.01063	0.29851	0.987
100 O	0.349	0.1592	0.01577	0.24929	0.993
100 Z	0.380	0.1661	0.02728	0.19983	0.972
75 KA 25 G	0.408	0.1341	0.01440	0.24366	0.989
75 KA 25 O	0.263	0.1064	0.01395	0.22097	0.982
75 KA 25 Z	0.343	0.1087	0.00835	0.28199	0.977
50 KA 50 G	0.451	0.1491	0.03033	0.17803	0.947

Çizelge 4.13. TYÜEBD sonucunda elde edilen kalıcı deformasyonlar ile Tutumluer ve Pan (2008) modeli bileşenleri (devamı)

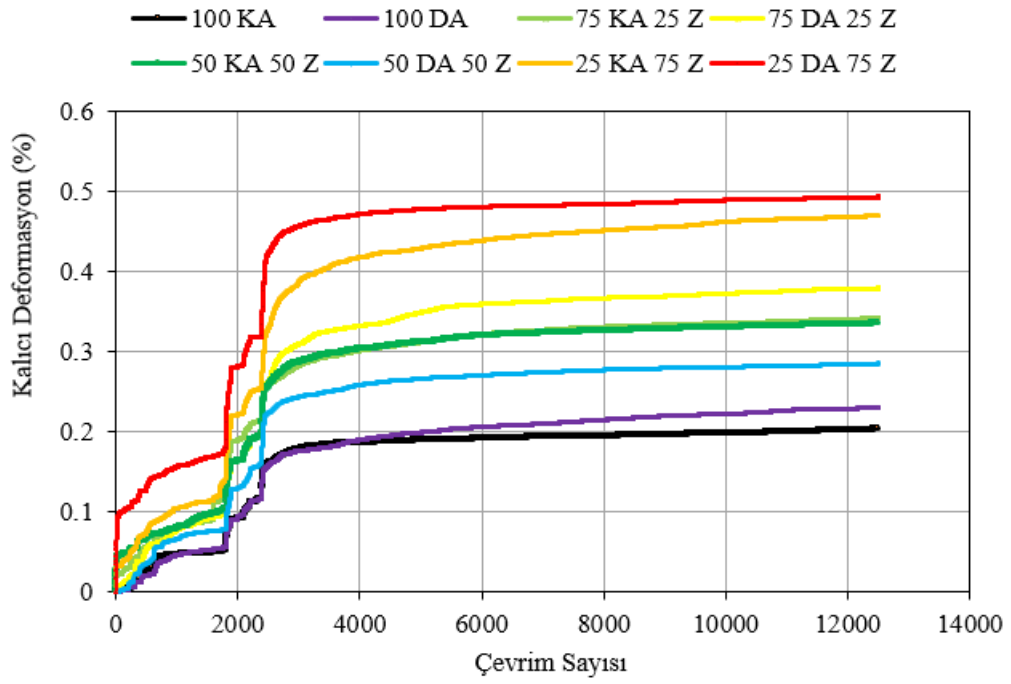
Tasarım	Toplam Kalıcı Deformasyon (%)	2400 - 12500 Arasındaki Toplam Kalıcı Deformasyon (%)	α	b	R^2
50 KA 50 O	0.295	0.0851	0.00710	0.26860	0.988
50 KA 50 Z	0.336	0.1255	0.02471	0.17841	0.985
25 KA 75 G	0.333	0.0709	0.00315	0.33564	0.982
25 KA 75 O	0.509	0.2373	0.02350	0.25655	0.969
25 KA 75 Z	0.471	0.1999	0.03293	0.19802	0.978
75 DA 25 G	0.313	0.1353	0.02226	0.19383	0.984
75 DA 25 O	0.399	0.1422	0.04305	0.13227	0.947
75 DA 25 Z	0.380	0.1295	0.02451	0.18259	0.971
50 DA 50 G	0.241	0.0709	0.02002	0.13369	0.991
50 DA 50 O	0.297	0.0854	0.01762	0.17030	0.990
50 DA 50 Z	0.286	0.1107	0.02514	0.16136	0.986
25 DA 75 G	0.356	0.1061	0.02919	0.13928	0.988
25 DA 75 O	0.454	0.1543	0.04002	0.14738	0.979
25 DA 75 Z	0.495	0.1595	0.06711	0.09406	0.970



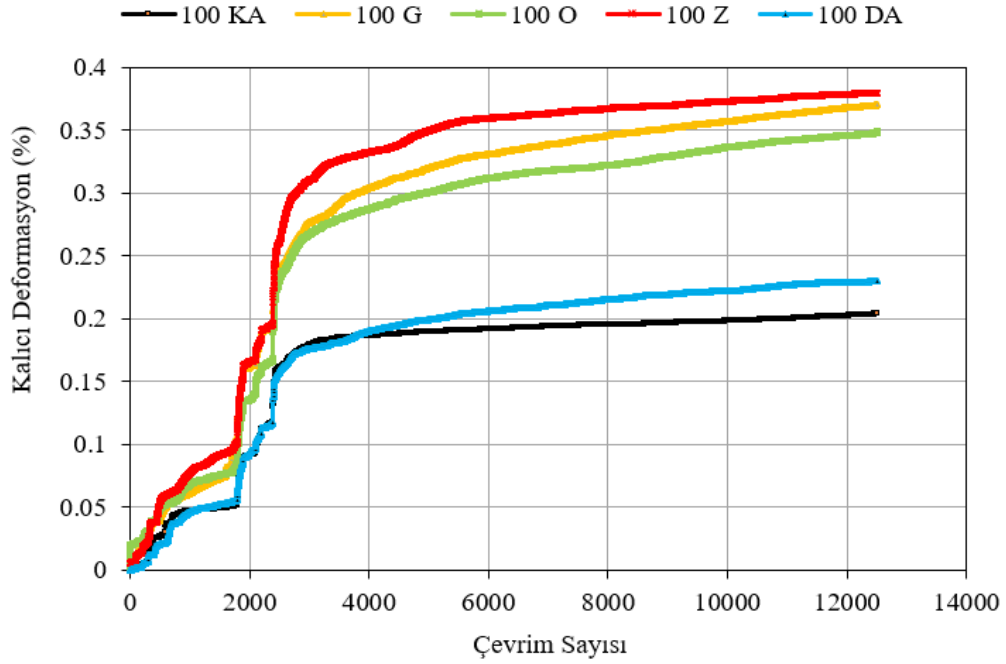
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.7. Kalıcı deformasyon değerlerinin karşılaştırılması, a) KA - DA - G'li karışımların tasarımları, b) KA - DA - O'lu karışımların tasarımları, c) KA - DA - Z'li karışımların tasarımları, d) Tüm %100 tasarımlar

4.3. Görüntü Analizlerinin Sonuçları

Bu bölümde görüntü analizi sonuçları verilmiştir.

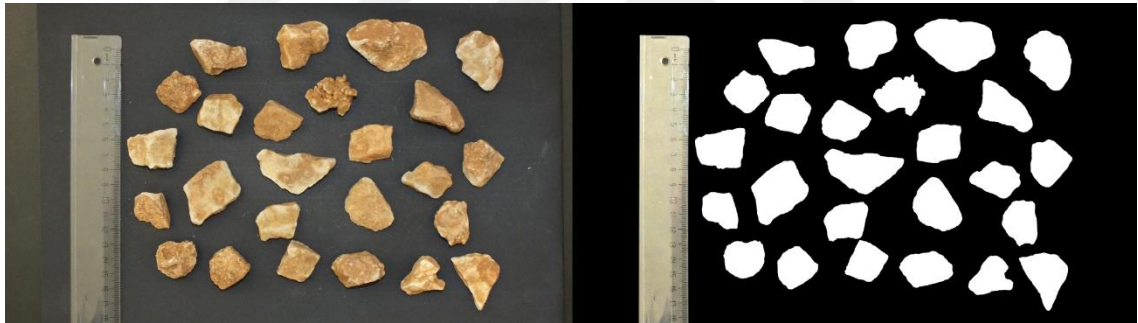
4.3.1. Fraktal boyut analizi sonuçları

5 farklı malzemenin fraktal boyutu alan - çevre yöntemine göre elde edilmiştir. Şekil 4.8'de her malzeme için elde edilmiş bazı görüntüler verilmiştir. Şekil 4.9'da fraktal boyut hesabında kullanılan grafikler gösterilmiştir. 100 KA, 100 DA, 100 G, 100 O ve 100 Z için bulunan fraktal boyut değerleri sırasıyla 1.059, 1.046, 1.079, 1.076 ve 1.083 olmuştur. Tane pürüzlülüğü, köşeliliği ve yassılığı, malzemelerin kırılma işlemi sırasında tabii tutulduğu aşamalara göre değişebilmektedir. Bu durum aynı zamanda fraktal boyutları da etkileyeceğinden, bulunan sonuçlarda fraktal boyutların değişimi buna paralel olarak gerçekleşmiştir. DA herhangi bir kırma işlemi neticesinde elde edilmediğinden fraktal boyut değeri beklenildiği üzere düşük bulunmuştur. Doğal halde olan bu malzeme daha yuvarlak bir tane şeklini korumuştur. KA ve GDBA'lar için ise aynı durum geçerli olmamıştır; çünkü bu malzemeler konkasörle kırılma işlemi

sonucunda elde edilmiştir. KA kırmataş ocağından konkasörle ve GDBA'lar laboratuvar tipi kırıcıyla elde edildiğinden KA ve GDBA'larda DA'ya göre daha girintili - çıkıntılı, dolayısıyla pürüzlü ve köşeli yüzeyler elde edilmiştir. GDBA'ların fraktal boyutları ise KA'dan daha fazla olmuştur. Bunun nedeni ise GDBA'da yapışık çimento harcının kırım esnasında pürüzlü bir yapı meydana getirmesi şeklinde açıklanabilir. Ayrıca laboratuvar tipi kırıcıda kırılan GDBA'lar daha fazla kırma işlemine maruz kaldığından daha pürüzlü bir yapı meydana gelmiştir.



(a)



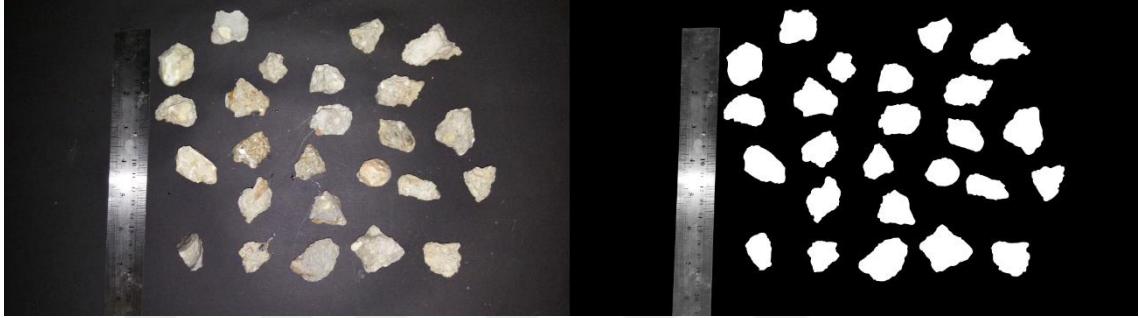
(b)



(c)

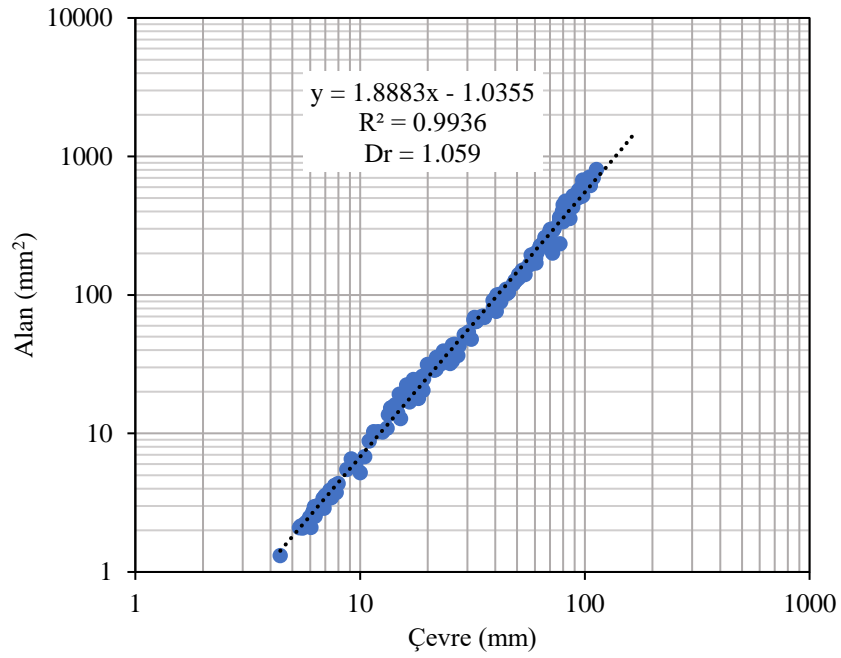


(d)

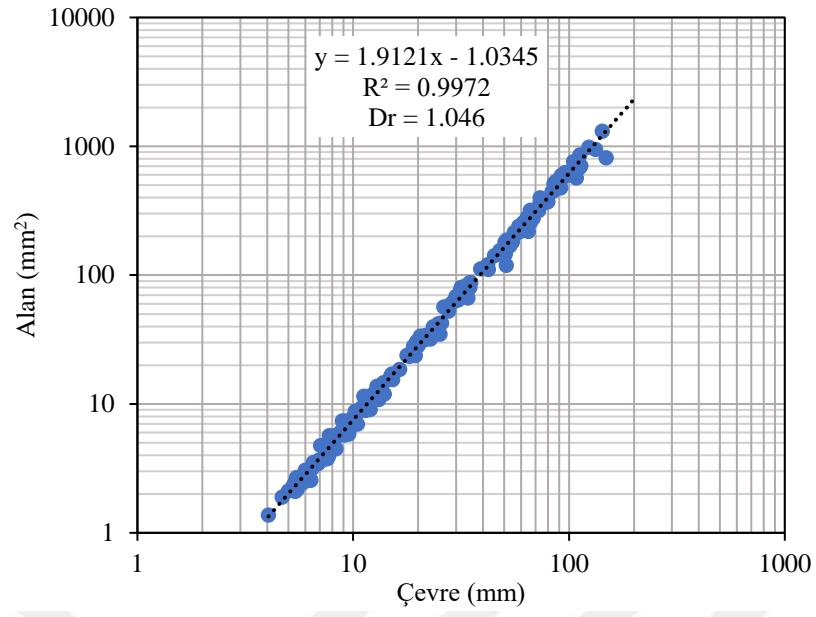


(e)

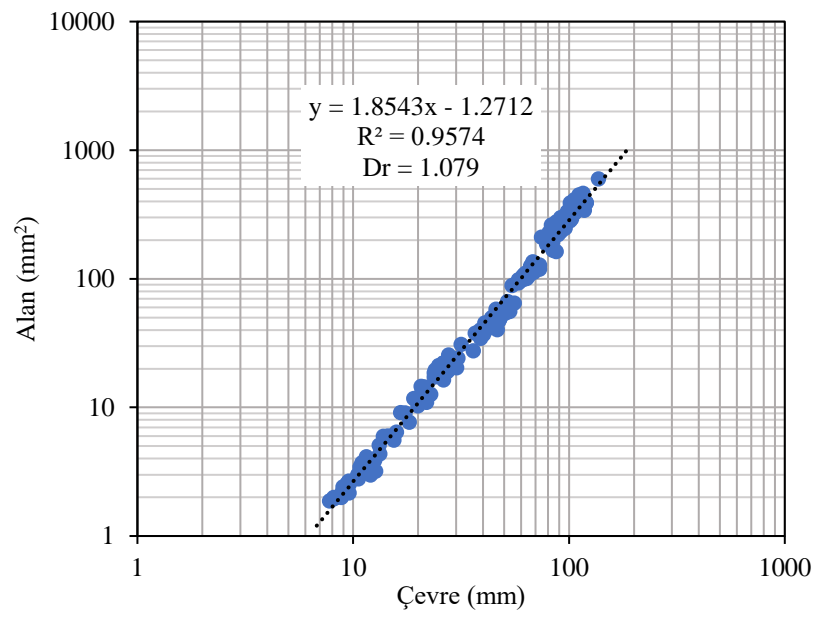
Şekil 4.8. Malzemelerin fraktal boyut analizinde kullanılan örnek görüntüleri, a) KA, b) DA, c) G, d) O, e) Z



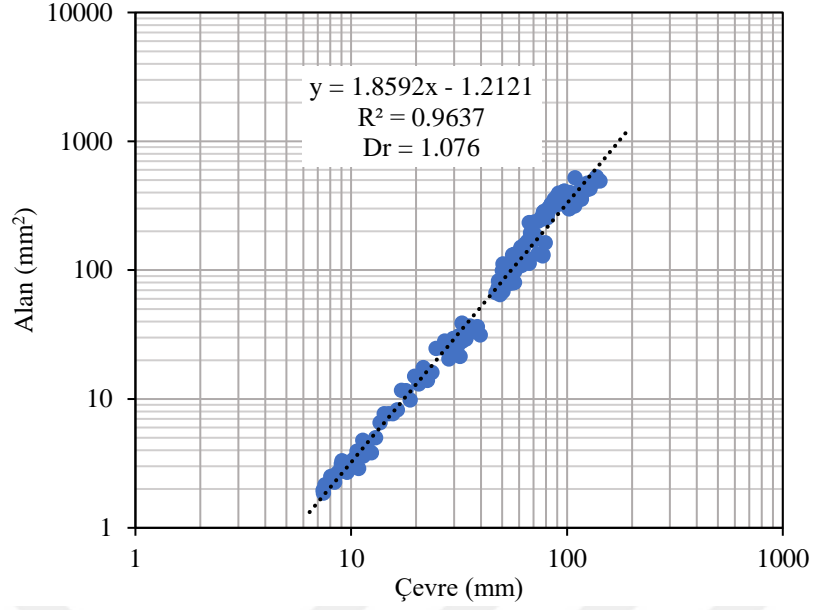
(a)



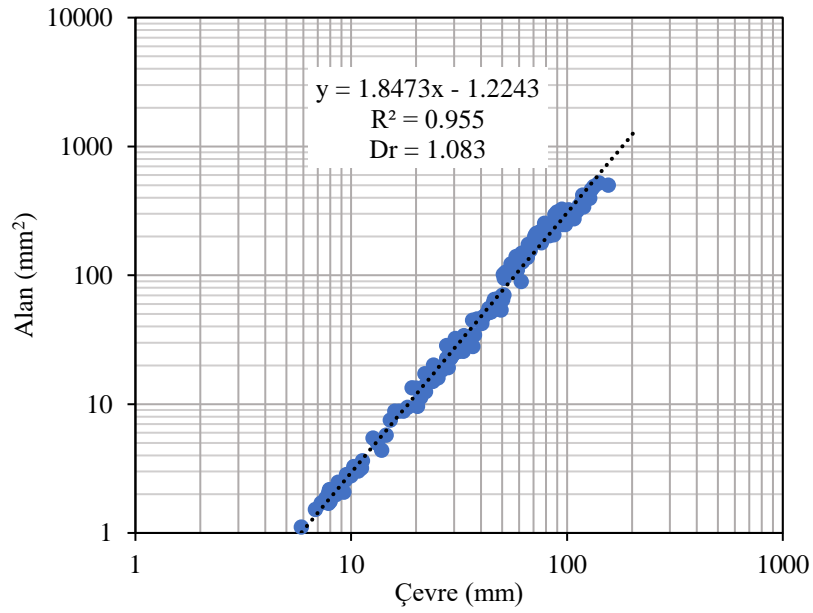
(b)



(c)



(d)



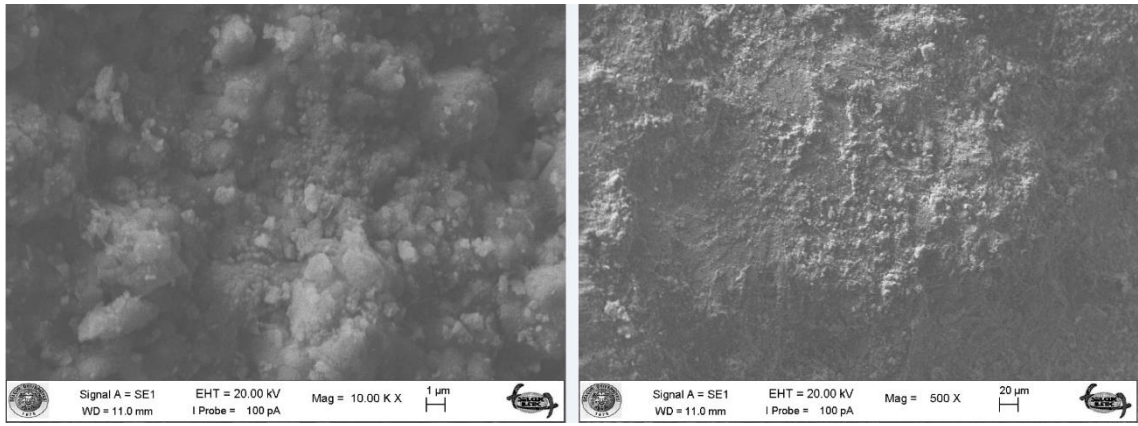
(e)

Şekil 4.9. Malzemelerin alan - çevre metoduna göre logaritmik olarak alan ve çevrelerinin grafiklenmesi, a) KA, b) DA, c) G, d) O, e) Z

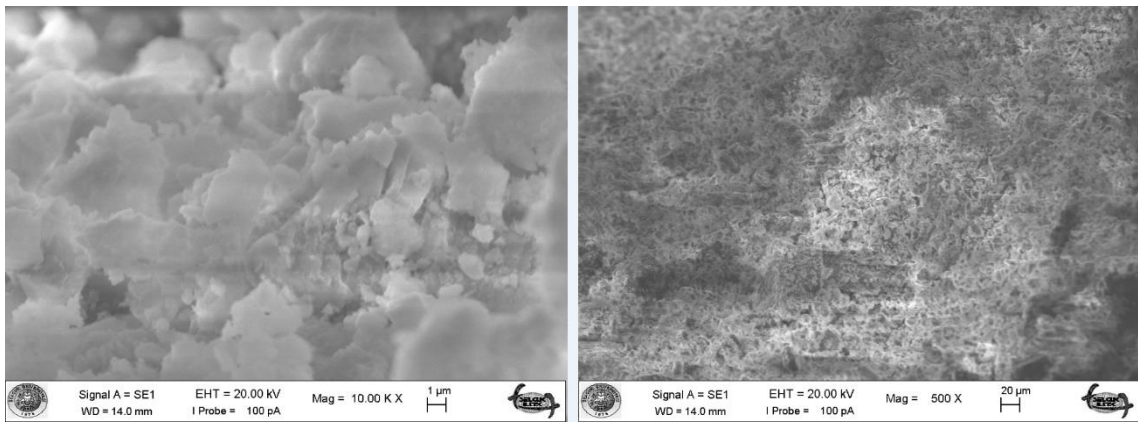
4.3.2. SEM analizi sonuçları

G, O ve Z için 1, 7 ve 28 gün kür edilmiş durumlarının 10000 ve 500 kat büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verilmiştir. Buna göre KA ve DA'da herhangi bir kür süresi için malzeme dokusunda bir değişim meydana gelmemiştir. Bu durum bu malzemelerin ince tanelerinin bağlayıcı özellik göstermemesi

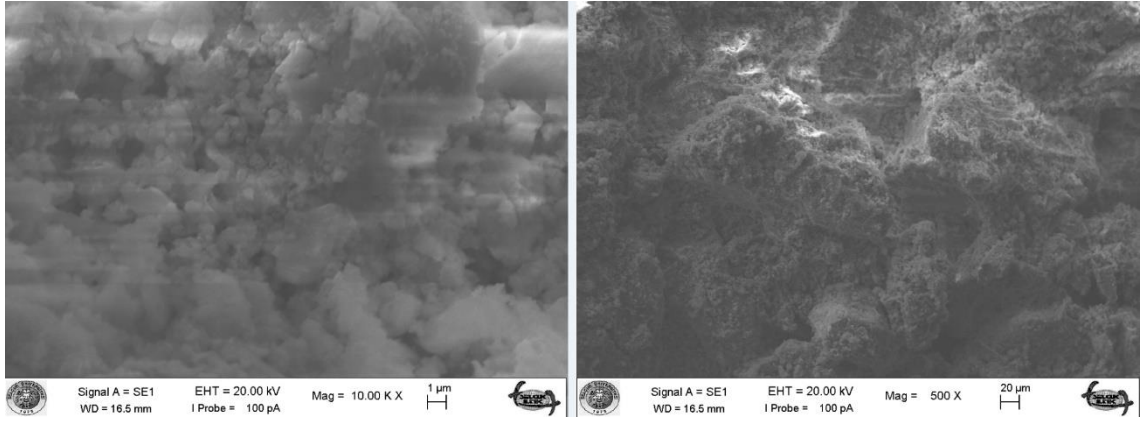
nedeniyle kür süresince hidrasyon gibi bir reaksiyonun meydana gelmemesinden kaynaklanmıştır. Fakat GDBA’larda da kür süreleri boyunca ayırt edici, devam eden hidrasyonun izine rastlanamamıştır. “Materyal ve Yöntem” bölümünde açıklandığı üzere GDBA’larda yapışık çimento harcı nedeniyle ikincil çimentolanmanın gerçekleşmesi beklenmiştir. İkincil çimentolanma meydana gelmemesi, mevcut yapışık çimento harcının artık hidrasyon reaksiyonları verebilecek aktifliğe sahip olmamasından kaynaklanmış olabilir. Bu tez çalışmasında ikincil çimentolanmanın gözlenememesinin en büyük nedeni, GDBA’ların elde edildiği binaların oldukça eski olması ve bu yıkıntıların yıkım sonrasında uzun bir süre yıkıntı sahasında beklemesinden dolayı çevresel etkilere (yağmur gibi) maruz kalması olabilir.



(a)

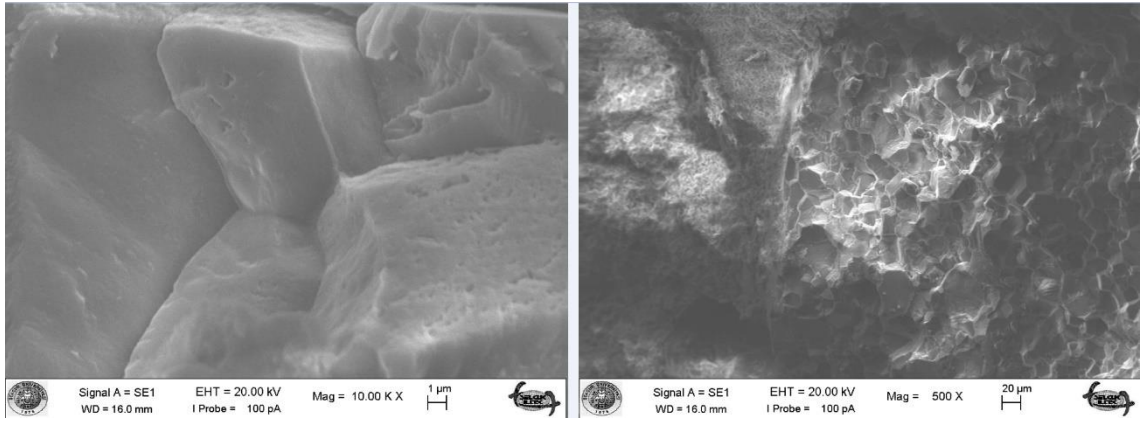


(b)

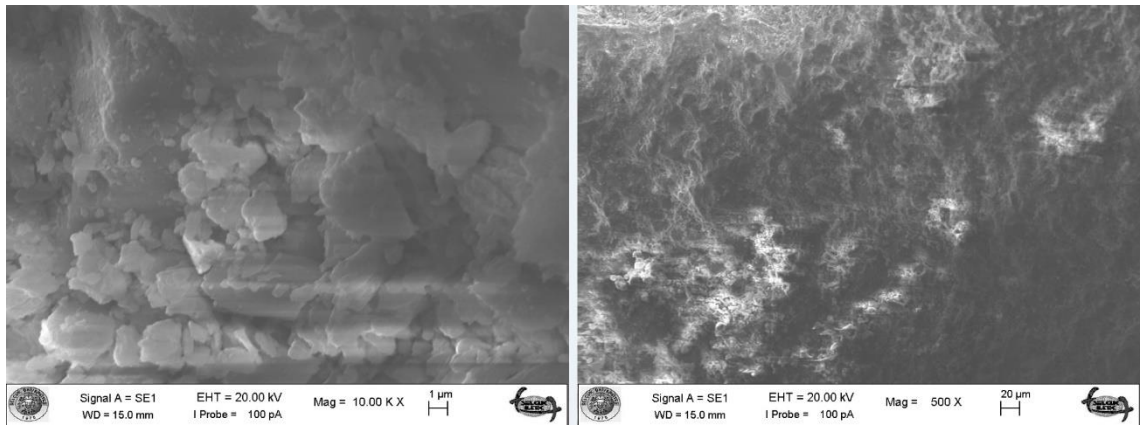


(c)

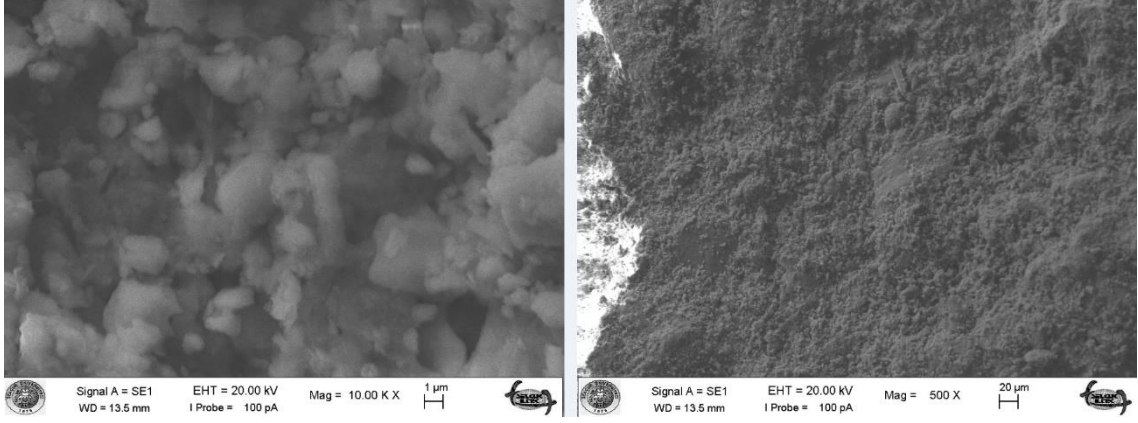
Şekil 4.10. G'nin SEM görüntüleri, **a)** 1 günlük kür süresi, **b)** 7 günlük kür süresi, **c)** 28 günlük kür süresi



(a)

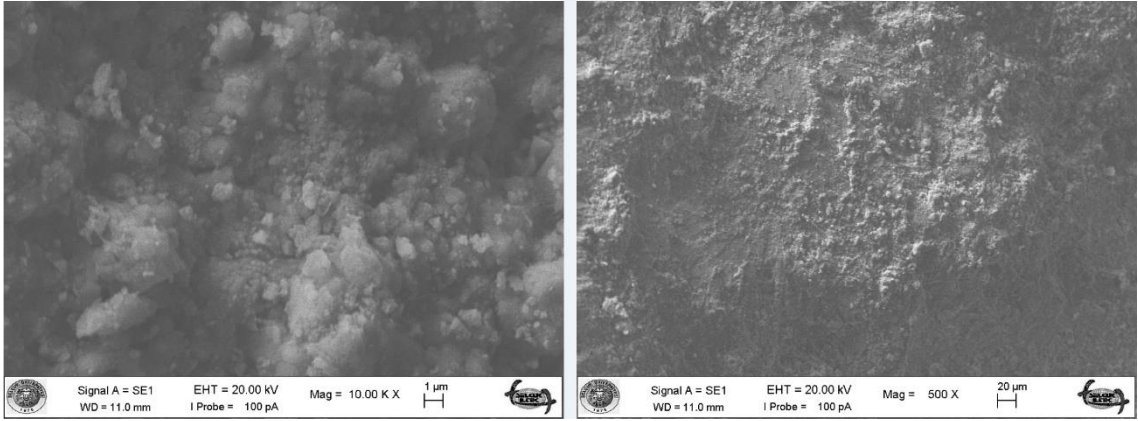


(b)

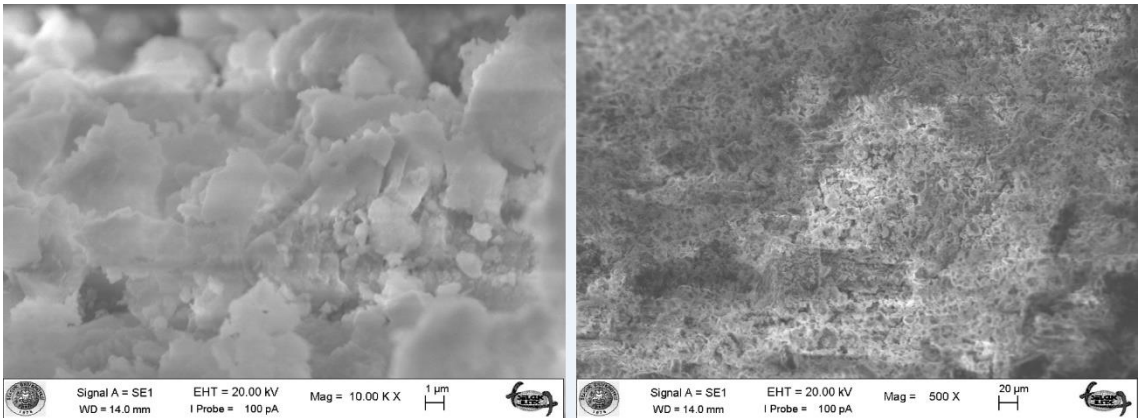


(c)

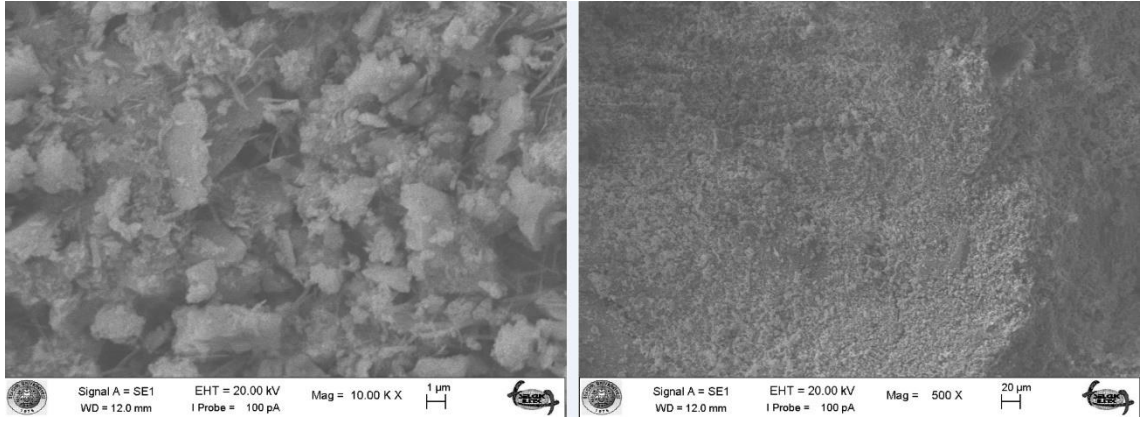
Şekil 4.11. O'nun SEM görüntüleri, a) 1 günlük kür süresi, b) 7 günlük kür süresi, c) 28 günlük kür süresi



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.12. Z'nin SEM görüntüleri, a) 1 günlük kür süresi, b) 7 günlük kür süresi, c) 28 günlük kür süresi

4.4. Malzeme Özellikleri Arasındaki İlişkiler

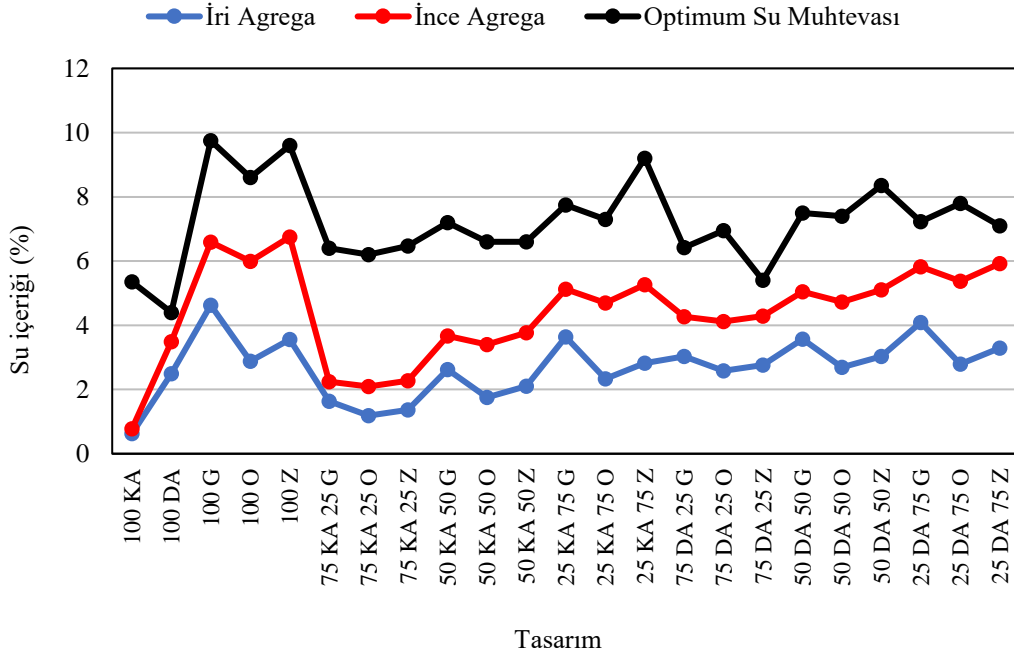
Bu bölümde tez çalışması kapsamında elde edilmiş olan laboratuvar deneyleri ve görüntü analizleri arasındaki ilişkiler karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve tartışılmıştır. 23 farklı tasarımdan KTŞ (2013) şartlarına göre GYT'de kullanılmaya en uygun olanları bir sonraki bölümde kalınlık hesabı yapılmak üzere seçilmiştir.

4.4.1. Fiziksel, mekanik ve geçirimsizlik özellikleri arasındaki ilişkiler

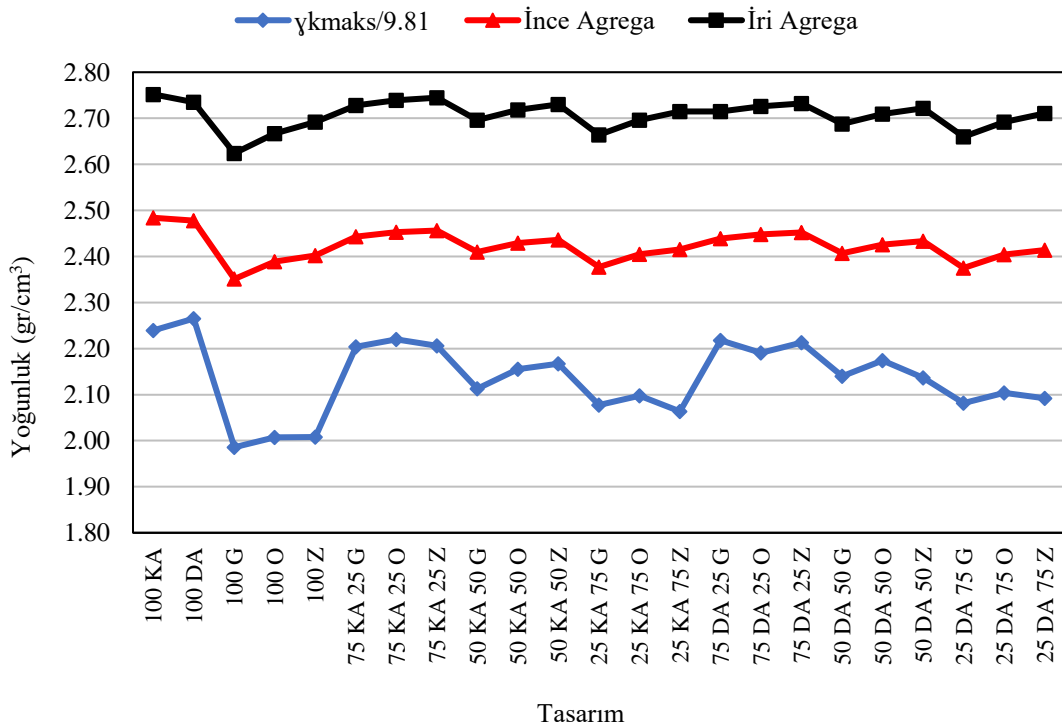
23 farklı tasarımda esneklik modüllerinin diğer özelliklerle ilişkilerinin incelenmesinin yanında, bu özelliklerin birbirleriyle olan ilişkileri de araştırılmıştır.

Modifiye Proctor deneylerinden elde edilen w_{opt} ve γ_{kmaks} ile su emme ve tane yoğunluğu değerleri arasında bir ilişki bulunmuştur. Buna göre tasarımlarda su emme değerleri arttıkça w_{opt} değerlerinin arttığı görülmüştür (Şekil 4.13). Benzer bir durum γ_{kmaks} ve tane yoğunluğu değerleri arasında da görülmüştür (Şekil 4.14). Bu iki ilişki beklenen bir durumdur; çünkü modifiye Proctor deneylerinde optimum bir su içeriği aranırken kompaksiyon kalıbını dolduran malzeme miktarı da buna göre değişmektedir. Modifiye Proctor deneyinde su emme kapasiteleri yüksek malzemelerde taneler arasında yağlanmayı sağlayacak su, taneler tarafından daha fazla emildiğinden, optimum su muhtevası daha yüksek olmuştur; çünkü deneyde kullanılacak karışımın suyu öncelikle malzemenin su emme kapasitesine ulaşmış, sonra da taneler arasında yağlanmayı sağlayacak su filmi meydana gelmiştir. Bu esnada kompaksiyon kalıbını dolduran malzemenin özgül ağırlığı yüksek olanlarda, aynı hacmi daha yüksek yoğunlukta

malzeme doldurmuş olacağından, maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri özgül ağırlığı düşük olanlara göre daha yüksek olmuştur.



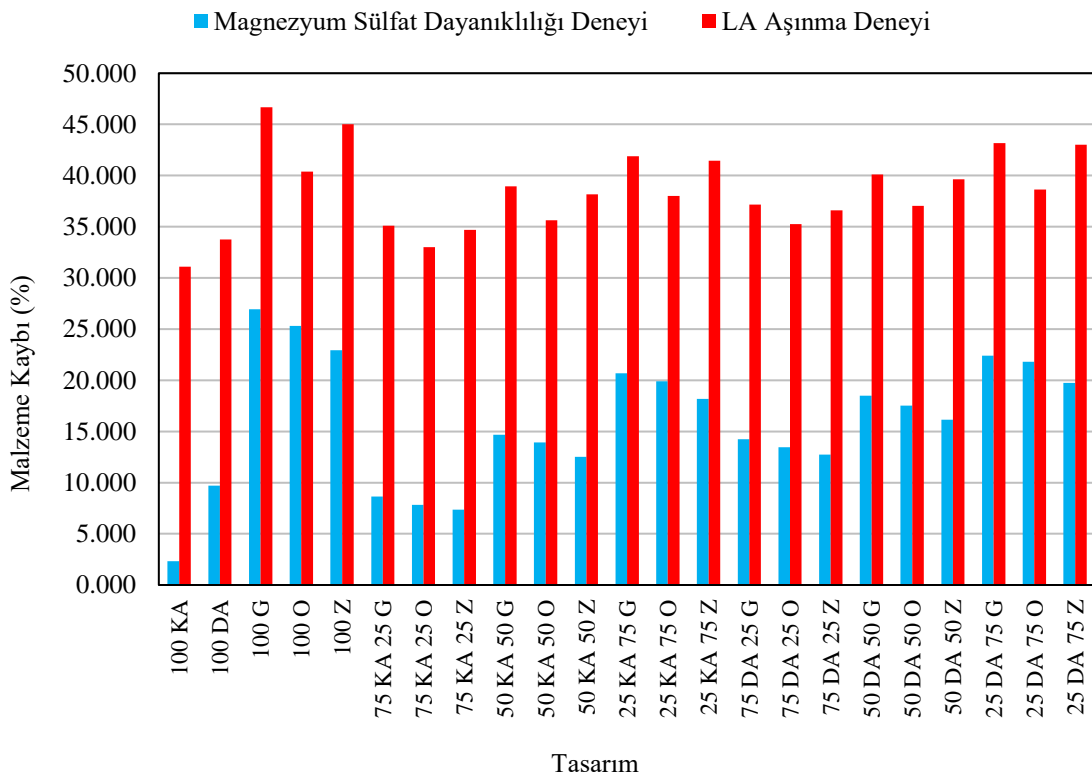
Şekil 4.13. w_{opt} ile iri agregat ve ince agregatın su emme değerlerinin tasarımlara göre değişimi



Şekil 4.14. γ_{maks} ile iri agregat ve ince agregatın tane yoğunluk değerlerinin tasarımlara göre değişimi

Magnezyum sülfat dayanıklılığı ve Los Angeles aşınma deneylerinin sonuçları arasında bir ilişki bulunmuştur (Şekil 4.15). Eşitlik 4.2’de kurulan ilişkinin doğrusal olduğu görülmektedir. Kurulan bu model ilişkinin determinasyon katsayısı (R^2) 0.7922 olmuştur. Elde edilen bu R^2 değeri yüksek bir değer olarak kabul edilebilir. Bu ilişki iki deneydeki malzeme kayıplarının GDBA’larda DA ve KA’ya göre oldukça fazla olmasından kaynaklanmıştır. Magnezyum sülfat deneyleri ile Los Angeles aşınma deneylerindeki malzeme kayıplarının GDBA’larda oldukça yüksek olması, daha önceki ilgili bölümlerde açıklandığı gibi yapışık çimento harcının agrega tanesinden ayrılması nedeniyle meydana gelmektedir. Bu nedenle iki deney sonuçları arasında birbirine bağlantılı bir ilişki ortaya çıkmıştır. KA ve DA GDBA’lardaki gibi yapışık çimento harcına sahip olmamasına rağmen, KA ve DA’nın GDBA ile karıştırılarak oluşturulan 18 farklı karışım tasarımındaki GDBA artışıyla orantılı olacak şekilde malzeme kayıplarının arttığı görülmüştür.

$$\text{MgSO}_4 \text{ malzeme kaybı (\%)} = -38.31 + 1.412 \times \text{LA aşınma kaybı (\%)} \quad (4.2)$$

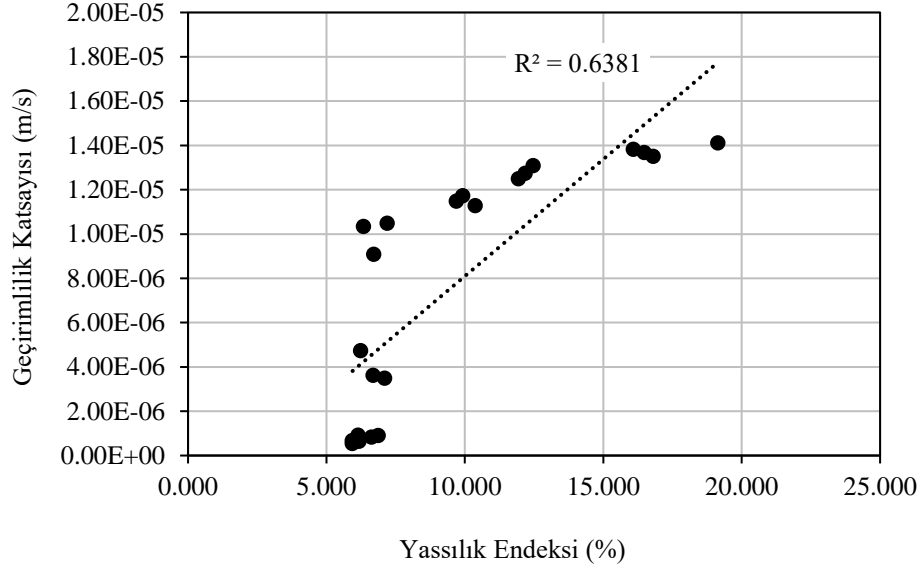


Şekil 4.15. Magnezyum sülfat dayanıklılığı ve LA aşınma deney sonuçları arasındaki ilişki

GDBA'ların elde edildiği yıkıntı binalardan alınan örnek karot numunelerinin basınç dayanımları ile GDBA'ların mekanik, fiziksel ve geçirimsizlik özellikleri ile ilgili bir ilişki bulunamamıştır. Bu durumda beklenen, karot numunelerinin basınç dayanımı yüksek olan yıkıntı binalardan elde edilen G'nin O ve Z'ye göre laboratuvar deney sonuçlarının daha iyi performans göstermesi olmuştur. Buna göre beton basınç dayanımı arttıkça, magnezyum sülfat dayanıklılığı ve Los Angeles aşınma deneylerinde daha düşük malzeme kayıpları; esneklik modülü ve CBR deneylerinde ise daha yüksek değerler elde edilmesi beklenmesine rağmen böyle bir eğilim görülmemiştir. Betonların basınç dayanımları arasında çok fazla fark olmaması ve bu betonların yıkımdan sonra yıkıntı sahasında uzun süre beklemesi nedeniyle performans kaybına uğramaları bu durumun nedeni olabilir.

23 farklı tasarım üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden elde edilen yassılık endeksi ve geçirimsizlik katsayıları arasında bulunan lineer ilişki Eşitlik 4.3'teki gibidir. Bu modelin R^2 , düzeltilmiş determinasyon katsayısı (R^2_{adj}), tahmin edilen determinasyon katsayısı (R^2_{pred}) değerleri 0.638, 0.621, 0.569 elde edilmiştir. Bu değerler de görece olarak düşük sayılabilir. Buna göre yassılık endeksi değerlerinin artmasıyla geçirimsizliğin de arttığı görülmektedir. Buna örnek olarak 100 KA, 100 DA ve 100 O sırasıyla %19.138, %5.943, %7.196 yassılık endeksi değeri ve bu yassılık endeksi değerlerine karşılık gelen sırasıyla 1.411×10^{-5} m/s, 5.435×10^{-7} m/s, 1.049×10^{-5} m/s geçirimsizlik katsayıları verilebilir. Şekil 4.16'da bu iki özellik arasındaki eğilim görülmektedir. Yassılık endeksi değerinin yüksek olması, malzemelerde yassı ve/veya ince tanelerin fazla olduğuna işaret ettiğinden, geçirimsizlik deneyi kalıbına sıkıştırılarak yerleştirilen malzemenin taneleri arasında kanallar şeklinde boşluklar oluşmasına sebep olmuştur. Bu boşluklar geçirimsizlik deneyi esnasında numune içinde suyun rahatça ilerleyebileceği yollar açmış ve geçirimsizliğin artmasına neden olmuştur.

$$k \text{ (m/s)} = -2 \times 10^{-6} + 10^6 \times \text{Yassılık Endeksi (\%)} \quad (4.3)$$



Şekil 4.16. Geçirimsizlik katsayısı ve yassılık endeksi arasındaki ilişki

4.4.2. Esneklik modülleri ile fiziksel, mekanik ve geçirimsizlik özellikleri arasındaki ilişkiler

Esneklik modülü esnek üstyapı tasarımında doğrudan kullanılan en önemli malzeme özelliklerinden biridir. Fakat esneklik modülü için deney malzemesinin hazırlanmasının ve sıkıştırılmasının zorluğu, deneyi uygulayacak cihazın yaygın olarak mevcut olmaması, deney prosedürünün karmaşık olması ve deneyi yapacak kalifiyeli teknik ekibin yetersizliği nedeniyle, malzemelerin laboratuvarında daha rahat belirlenebilen diğer fiziksel ve mekanik özellikleri ile esneklik modülü ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Benzer çalışmalar geçmişte bazı araştırmacılar tarafından da yapılmıştır. Bu ilişkilendirme, esneklik modülü ile diğer fiziksel, mekanik ve geçirimsizlik özellikleri arasında istatistiksel yöntemler aracılığıyla eşitlikler bulma şeklinde gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. İlişkilendirme veya model kurma için anlamlılık kriterleri olarak R^2 , R^2_{adj} , R^2_{pred} ve P değerleri dikkate alınmıştır. Buna göre kurulan ilişkilerin anlamlı olabilmesi ve genele uygulanabilir olarak kabul edilebilmesi için R^2 , R^2_{adj} , R^2_{pred} değerlerinin olabildiğince yüksek olması ve P değerinin 0.05'ten küçük bir değer alması istenen bir durumdur. R^2 değeri tek başına ilişkinin anlamlılığını belirlemede yanıltıcı olabilmekle birlikte R^2_{adj} , R^2_{pred} arasında %20'den az bir fark olmalı ve R^2_{adj} , R^2_{pred} değerleri R^2 değerine olabildiğince yakın olmalıdır.

Esneklik modülünün diğer özelliklerle ilişkisini lineer regresyon ile belirlemek için istatistiksel analiz yapılmıştır. Bunun için 23 farklı tasarımın laboratuvarında ilgili

deneylerle belirlenen diğer özellikleri ve 23 tasarım için esneklik modülü değerleri olarak MEPDG modeli ile 208 kPa toplam gerilme için elde edilen değerler kullanılmıştır. Her bir fiziksel, mekanik ve geçirimsizlik özelliğinin hem ayrı ayrı hem de hepsi dahil olmak üzere etkileşim terimleri de dikkate alınarak esneklik modülü ile ilişkisi incelenmiştir. Ayrıca sadece doğrusal bir ilişkinin varlığı değil, aynı zamanda değişkenlerin doğal logaritmik ve karekök dönüşümleri de yapılarak lineer regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonuçları, bu sonuçlardan elde edilen R^2 , R^2_{adj} , R^2_{pred} ve P değerleri ve elde edilen eşitlikler Çizelge 4.14'te görülmektedir. İstatistiksel analiz sonuçları, değişkenlerde doğal logaritmik dönüşümü yapıldığı takdirde, esneklik modülünün LA aşınma, iri tanelerin su emme ve geçirimsizlik katsayısı özellikleriyle diğer özelliklere göre daha anlamlı sayılabilecek bir ilişkinin olduğunu; fakat bu durumda bile sırasıyla 0.579, 0.513 ve 0.373 ile düşük R^2 , R^2_{adj} ve R^2_{pred} değerleri ve 0.001 P değerinin elde edildiğini göstermiştir. R^2_{adj} ve R^2_{pred} arasında %20'den az bir fark kurulan ilişkinin anlamlılığını göstermektedir; fakat bu durumda bile R^2 değerleri oldukça düşük olduğundan modellerin anlamlı olmadığı, yani ilişki kurulamadığı söylenebilir.

Çizelge 4.14. Esneklik modülü ve diğer özellikler arasındaki ilişki modelleri ve regresyon bileşenleri

Regresyon Eşitliği	R^2	R^2_{adj}	R^2_{pred}	P değeri
M_r (kPa) = 2368610 + 96875 x γ_{kmax} (kN/m ³) - 1529506 x ρ_s (iri taneler) (gr/cm ³)	0.380	0.318	0.183	0.008
$\ln(M_r)$ (kPa) = 18.09 - 0.2183 x LA Aşınma (%) + 0.868 Su Emme (iri taneler) (%) + 53735 x k (m/s)	0.579	0.513	0.373	0.001
$M_r^{(0.5)}$ (kPa) = 2850 + 103.8 x γ_{kmax} (kN/m ³) - 1670 x ρ_s (iri taneler) (gr/cm ³)	0.367	0.304	0.159	0.010

CBR ve esneklik modülü değerleri malzemelerin dayanımı için bir gösterge olduğundan, bu iki değer arasında anlamlı bir ilişkinin bulunması beklenmiş; fakat böyle bir durum gerçekleşmemiştir. Çizelge 4.15'te sadece CBR ve esneklik modülü arasında lineer regresyon yöntemi kullanılarak istatistiksel analiz ile elde edilen ilişkinin bileşenleri görülmektedir. Burada R^2 , R^2_{adj} ve R^2_{pred} değerleri sırasıyla 0.031, 0 ve 0 bulunmuş ve P değeri 0.42 olmuştur. Elde edilen bu değerler esneklik modülü ve CBR arasında anlamlı bir ilişkinin mevcut olmadığını göstermiştir. Önceki çalışmalarda bazı araştırmacılar tarafından hem benzer yönde hem de aksi yönde sonuçlar elde edilmiştir. Malzeme dayanımının CBR deneyinde statik yükleme altında belirlenmesine karşın

esneklik modülü deneyinde dinamik yükleme altında belirlenmesi bu durumu açıklayabilir. Buna göre malzemelerin dinamik ve statik yükleme altındaki davranışları değişmektedir. Bu davranış farklılığı, bazı çalışmalarda CBR değerine bağlı olarak esneklik modülünün formülize edilebilmesine (Heukelom ve Klomp, 1962) karşılık bazı çalışmalarda, bu tez çalışması kapsamında olduğu gibi, buna benzer formülizasyonun yapılamamasına (Thompson ve Robnett, 1976) neden olmuştur. Aslında CBR'nin esneklik modülü gibi parametrelerle korelasyonunun olmasına gerek yoktur (Drumm ve ark., 1990). Laboratuvar esneklik modülü deneyinin esnek üstyapı tabakalarının trafik yükü altındaki davranışını CBR'ye göre daha doğru bir şekilde yansıttığı bilindiğine göre; yol tasarımında laboratuvar deneyi ile bulunmuş esneklik modülü değerinin, dayanım özelliği olarak, CBR'ye bağlı olarak çıkarılmış ampirik eşitliklerden elde edilen esneklik modülü değeri yerine kullanılması daha doğru olacaktır.

Çizelge 4.15. Esneklik modülü ve diğer özellikler arasındaki ilişki modelleri ve regresyon bileşenleri

Regresyon Eşitliği	R ²	R ² _{adj}	R ² _{pred}	P değeri
M_r (kPa) = 295197 - 386 x Yaş CBR (%)	0.031	0.000	0.000	0.420
$\ln(M_r)$ (kPa) = 12.570 - 0.00164 x Yaş CBR (%)	0.024	0.000	0.000	0.482
$M_r^{(0.5)}$ (kPa) = 540.1 - 0.392 x Yaş CBR (%)	0.027	0.000	0.000	0.450

4.4.3. Dayanım özellikleri ile görüntü analizi sonuçları arasındaki ilişkiler

SEM ve fraktal boyut analizleri ile dayanım özellikleri olan esneklik modülü ve CBR arasında ilişkinin varlığı araştırılmıştır.

“SEM analizi sonuçları” kısmında açıklandığı üzere SEM analizinde ikincil çimentolanmanın varlığı saptanamamıştır. Bu durum yaş ve kuru CBR değerleri incelendiğinde tutarlıdır. İkincil çimentolanma reaksiyonları, numuneyi 4 günlük suda bekletme sonunda gerçekleştirilen yaş CBR ile sıkıştırmadan sonra hemen gerçekleştirilen kuru CBR arasında farklılığa sebep olabilmektedir. Çünkü bu reaksiyon sonucunda, aslında bağlayıcı özellikte olmayan malzeme matriksi bağlayıcı hale gelmekte ve dayanımı artmaktadır. Bunun gerçekleşebilmesi için ikincil çimentolanma reaksiyonu gerçekleştirecek yapışık çimento harcının suyla temas etmesi gerekmektedir. Tez çalışmasında GDBA'lı tasarımlarda yaş ve kuru CBR değerleri arasında kayda değer bir fark gözlemlenmediğinden ikincil çimentolanmanın gerçekleşmediği söylenebilir.

Fraktal boyut analizleri daha önce açıklandığı gibi, malzemelerin pürüzlülük ve köşeliliğinin bir göstergesi olduğundan dayanım üzerinde etkili olmuş olabilir. Burada esneklik modülü ve CBR değerleri ile fraktal boyutlar arasında doğrudan bir ilişki gözlemlenmemiştir. Fakat dayanıklılık özellikleri kötü olan GDBA'lı tasarımların esneklik modülü ve CBR değerleri neredeyse KA'ya yakın derecede olmuştur. "Fraktal boyut analizi sonuçları" bölümünde GDBA'ların KA ve DA'ya göre yüksek fraktal boyuta - yani pürüzlülük ve köşeliliğe - sahip olması bunların dayanım özellikleri üzerinde fraktal boyutların etkisinin mümkün olabileceğini göstermektedir. Çünkü pürüzlülük ve köşelilik taneler arasındaki kenetlenmeyi dolayısıyla yük taşıma kabiliyetini arttırabilir. Esneklik modülü değerlerinin yüksek tane köşeliliği ile beraber arttığı (Stolle ve ark., 2009) ve GDBA'ların geleneksel agregalara göre köşeliliğinin daha yüksek olduğu saptanmıştır (Edil, 2012). GDBA'larda KA'ya yakın derecede esneklik modülü değerlerinin elde edilmesinin nedenlerinden birisi yapışık çimento harcı nedeniyle daha pürüzlü bir yüzeye sahip olmaları olabilir (Kuo ve ark., 2002). Fakat bu özellikler arasında sayısal bir ilişki elde edilememiştir.

4.5. Kalınlık Hesaplarının Sonuçları

"Materyal ve Yöntem" bölümünde yöntemi ve seçilen verileri açıklanmış, GYT'sinde 100 KA, 100 O ve 50 KA + 50 O olmak üzere 3 farklı tasarım kullanılan 3 farklı esnek üstyapının kalınlık hesabı yapılmıştır.

$T_{8.2}$ değeri ve bu değer hesaplanırken kullanılan notasyon ve tanımların hesaplanan değerleri Çizelge 4.16'da verilmiştir. $T_{8.2}$ değeri 43190086 olarak, seçilen yolun trafik yoğunluğuna göre hesap edilmiştir. 3 farklı malzeme için aynı güzergahta yol yapılacağı kabul edildiğinden tasarımlara göre $T_{8.2}$ değeri farklılık göstermemiştir.

Çizelge 4.16. $T_{8.2}$ değerinin hesaplanması

Taşıt türü	Yıllık Ortalama Günlük Trafik (t_0)	Trafik Büyüme Faktörü $(1+r)^t$	Proje Trafığı (t_p)	Eşdeğer dingil yükü katsayısı (TEF)	Günlük Standart Dingil Sayısı	Günlük Standart Toplam Dingil Sayısı	Tasarım Eşdeğer Dingil Yükü Sayısı ($T_{8.2}$)
Otomobil	6479	2.19	9838	0.0006	2.66		
Orta yüklü ticari taşıt	1159	2.19	1760	0.60	475.19		
Otobüs	287	2.19	436	3.20	627.57	5916	43190086
Kamyon	850	2.19	1291	2.90	1684.40		
Treyler	1116	2.19	1695	4.10	3126.64		

Çizelge 4.17’de seçilen tasarım değişkenleriyle beraber, $T_{8.2}$ ’ye bağlı olarak hesaplanmış esnek yol üstyapısının sağlanması gereken SN değeri görülmektedir. Eşitlik 3.27 ile SN değerlerinin hesaplanması esnasında, tüm tasarımlar için $T_{8.2}$ değeri ve taban zemini esneklik modülü aynı olduğundan 3 farklı tasarım için bulunan 13.014 cm SN değeri aynı olmuştur. Çizelge 4.18’de 3 farklı tasarımda her tabaka için bulunan a_i değerleri, seçilen başlangıç tabaka kalınlıkları ve bu kalınlıklara bağlı olarak her tabakanın başlangıç SN değeri verilmiştir. Burada değişen değerler, 3 farklı tasarımda GYT’lerin esneklik modülleri değişiklik gösterdiğinden a_2 değerleri olmuştur. SN değerlerinin kalınlık hesabında kullanılmasına yarayan a_i değerleri 3 esnek üstyapı için farklı değerler almıştır. Buna göre; 100 KA, 100 O, 50 KA + 50 O için a_2 değerleri sırasıyla 0.160, 0.163 ve 0.168 olarak hesaplanmıştır. 100 KA, 100 O, 50 KA + 50 O’nun esneklik modülü değerleri ise sırasıyla 252.813 MPa, 261.353 MPa, 274.033 MPa olduğundan; yüksek esneklik modülü değerine sahip 50 KA + 50 O’da 100 KA ve 100 O’ya göre daha büyük a_2 değeri bulunmuştur. 100 KA tasarımının esneklik modülünün diğer iki tasarıma göre düşük olması, GYT kalınlığının az bir farkla da olsa fazla olmasına neden olmuştur. Buna göre GDBA malzemenin dayanım bakımından KA’ya göre daha iyi bir performans gösterebileceği söylenebilir.

Çizelge 4.17. Yol tasarımı parametreleri

Tasarım Değişkenleri	Her Değişken için Değerler
T _{8.2}	43190086
P _i	4.2
P _t	2
ΔPSI	2.2
Taban zemini M _r 'si (Mpa)	50
R (%)	70
S ₀	0.45
Z _R	-0.524
Proje Süresi (yıl)	20
Drenaj katsayısı (m _i)	1
SN (cm)	13.014

Çizelge 4.18. SN değerlerinin bulunması

Tasarım Değişkenleri	100 KA	100 O	50 KA 50 O
SN (cm)	13.014	13.014	13.014
Drenaj katsayısı (m _i)	1.000	1.000	1.000
a ₁ (Aşınma)	0.420	0.420	0.420
a ₁ (Binder)	0.400	0.400	0.400
a ₁ (Bitümlü temel)	0.360	0.360	0.360
a₂ (GYT)	0.160	0.163	0.168
GYT M _r 'si (Mpa)	252.813	261.353	274.033

T_{8.2} 30 - 45 milyon arasında bulunduğundan, Çizelge 3.14'ten bu T_{8.2} değeri için minimum (başlangıç) tabaka kalınlıkları seçilmiştir. Çizelge 4.19'da seçilen minimum kalınlıklar ile Eşitlik 3.29'a göre hesaplanmış başlangıç SN değerleri verilmiştir. Çizelge 4.19'da Eşitlik 3.27'ye göre hesaplanmış gerekli SN değerleri, Çizelge 4.20'de başlangıç SN değerlerinin toplam durumları ve bu iki farklı SN değerleri arasındaki fark verilmiştir. Burada aşınma + binder + bitümlü temel ile aşınma + binder + bitümlü temel + temel SN toplamaları verilmiştir. Şekil 3.26'daki kontrol yöntemine göre başlangıç SN değerlerinin toplamı gerekli SN değerlerinin toplamından küçük olursa alttemel tabakası teşkil edilmelidir. Tez çalışması kapsamında alttemel kullanımı dikkate alınmayacağından GYT'nin kalınlığı, sağlanması gereken eksik SN değeri elde edilene kadar arttırılmıştır. Bu işlem Eşitlik 4.4'te verildiği şekilde yapılmıştır. Çizelge 4.21'de Tüm hesaplamalar sonucunda 100 KA, 100 O ve 50 KA + 50 O için elde edilmiş GYT kalınlıkları verilmiştir.

$$\Delta D_2 = \Delta SN / (m_2 \times a_2) \quad (4.4)$$

Burada,

ΔD_2 : Ek GYT kalınlığı (cm)

ΔSN : Toplam başlangıç ve toplam gerekli SN değeri arasındaki fark (cm)

m_2 : GYT'nin drenaj katsayısı

a_2 : GYT katsayısı

Çizelge 4.19. Başlangıç SN değerleri ve kalınlıklar, a) 100 KA, b) 100 O, c) 50 KA + 50 O

(a)

Tabaka	a_i	Başlangıç Kalınlığı (D_i) (cm)	Başlangıç SN (cm)
Aşınma	0.42	5	2.10
Binder	0.40	7	2.80
Bitümlü temel	0.36	8	2.88
GYT	0.160	20	3.20
Ek GYT (Gerekirse)	0.160	-	-
Toplam		40	10.97

(b)

Tabaka	a_i	Başlangıç Kalınlığı (D_i) (cm)	Başlangıç SN (cm)
Aşınma	0.42	5	2.10
Binder	0.40	7	2.80
Bitümlü temel	0.36	8	2.88
GYT	0.163	20	3.26
Ek GYT (Gerekirse)	0.163		
Toplam		40	11.04

(c)

Tabaka	a_i	Başlangıç Kalınlığı (D_i) (cm)	Başlangıç SN (cm)
Aşınma	0.42	5	2.10
Binder	0.40	7	2.80
Bitümlü temel	0.36	8	2.88
GYT	0.168	20	3.36
Ek GYT (Gerekirse)	0.168		-
Toplam		40	11.14

Çizelge 4.20. SN değerlerinin kontrolü, a) 100 KA, b) 100 O, c) 50 KA + 50 O

(a)

Tabaka	Başlangıç SN (cm)	Kontrol SN'i (cm)	Sağlıyor mu?	Gerekli ΔSN (cm)
Aşınma + Binder + Bitümlü Temel	7.78	7.591	EVET	Yok
Aşınma + Binder + Bitümlü Temel + GYT	10.97	13.014	HAYIR	2.04

(b)

Tabaka	Başlangıç SN (cm)	Kontrol SN'i (cm)	Sağlıyor mu?	Gerekli ΔSN (cm)
Aşınma + Binder + Bitümlü Temel	7.78	7.504	EVET	Yok
Aşınma + Binder + Bitümlü Temel + GYT	11.04	13.014	HAYIR	1.97

(c)

Tabaka	Başlangıç SN (cm)	Kontrol SN'i (cm)	Sağlıyor mu?	Gerekli ΔSN (cm)
Aşınma + Binder + Bitümlü Temel	7.78	7.378	EVET	Yok
Aşınma + Binder + Bitümlü Temel + GYT	11.14	13.014	HAYIR	1.87

Çizelge 4.21. Toplam GYT kalınlıkları

Tasarım	Ek GYT Kalınlığı (cm)	Başlangıç GYT (cm)	Toplam GYT (cm)
100 KA	12.81	20.00	32.81
100 O	12.09	20.00	32.09
50 KA 50 O	11.11	20.00	31.11

Buna göre elde edilen GYT kalınlıkları 3 tasarım için birbirine yakın olmasına rağmen 100 O ve 50 KA + 50 O'da kalınlıklar 100 KA'dan az olarak elde edilmiştir.

4.6. Maliyet Analizi Sonuçları

100 KA, 100 O ve 50 KA + 50 O'nun GYT'de kullanılması durumunda maliyet hesabında dikkate alınacak işlemler ve bunların birim fiyatları "Materyal ve Yöntem" bölümünde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Buna göre Çizelge 4.22'de maliyet hesabında doğrudan kullanılmış olan işlemler ve maliyetler verilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, KA için "ocakta taş hazırlanması" birim fiyatının 25.76 TL olmasına rağmen O için aynı işlemin birim fiyatının 16.94 TL olmasıdır. Bu farklılık "Materyal ve

Yöntem” bölümünde açıklanmış olan, O'nun elde edilmesi (ocakta taş hazırlanması) sırasında patlatma işleminin yok sayılmasından kaynaklanmıştır.

Çizelge 4.22. 1 m³ malzeme birim fiyatları ve bunların inşaat yerinde uygulama fiyatları, **a)** 100 KA malzeme, **b)** 100 KA uygulama, **c)** 100 O malzeme, **d)** 100 O uygulama

(a)

İşlem Tanımı	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)
Ocakta taş hazırlanması	m ³	1	25.76
Yükleyici (lastik tekerlekli) (100 hp) (maksimum 2 m ³) 1 saatlik ücreti (konkasöre yükleme ve konkasör altının boşaltılması)	sa	0.02	110.92
Konkasör'ün 1 saatlik ücreti (kırma, yükleme, eleme)	sa	0.011	308.86
Formen (granülometri ve kalite araştırma işleri)	sa	0.1	23.10
Yükleyici (lastik tekerlekli) (100 hp) (maksimum 2 m ³) 1 saatlik ücreti (taşlara yükleme, boşaltma ve yükleme)	sa	0.006	110.92
Toplam birim fiyat (miktar x birim fiyat)			34.36

(b)

İşlem Tanımı	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)
Taştan konkasörle kırılmış ve elenmiş 30 mm'ye kadar kırma taş hazırlanması	m ³	1	34.36
Greyder (190-209 hp) 1 saatlik ücreti (Serme)	sa	0.01	201.60
Su (Arazözle sulama)	m ³	0.1	6.84
Arazöz'ün 1 saatlik ücreti	sa	0.013	63.63
Titreşimli silindir'in 1 saatlik ücreti (sıkıştırma)	sa	0.017	106.29
Toplam birim fiyat (miktar x birim fiyat)			39.69

(c)

İşlem Tanımı	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)
Ocakta taş hazırlanması	m ³	1	16.94
Yükleyici (lastik tekerlekli) (100 hp) (maksimum 2 m ³) 1 saatlik ücreti (konkasöre yükleme ve konkasör altının boşaltılması)	sa	0.02	110.92
Konkasör'ün 1 saatlik ücreti (kırma, yükleme, eleme)	sa	0.011	308.86
Formen (granülometri ve kalite araştırma işleri)	sa	0.1	23.10
Yükleyici (lastik tekerlekli) (100 hp) (maksimum 2 m ³) 1 saatlik ücreti (taşlara yükleme, boşaltma ve yükleme)	sa	0.006	110.92
Toplam birim fiyat (miktar x birim fiyat)			25.53

(d)

İşlem Tanımı	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)
Taştan konkasörle kırılmış ve elenmiş 30 mm'ye kadar kırma taş hazırlanması	m ³	1	25.53
Greyder (190-209 hp) 1 saatlik ücreti (Serme)	sa	0.01	201.60
Su (Arazözle sulama)	m ³	0.1	6.84
Arasöz'ün 1 saatlik ücreti	sa	0.013	63.63
Titreşimli silindir'in 1 saatlik ücreti (sıkıştırma)	sa	0.017	106.29
Toplam birim fiyat (miktar x birim fiyat)			30.86

GYT'de 100 KA, 100 O ve 50 KA + 50 O kullanılarak oluşturulmuş 1 km uzunluğundaki yolun maliyet analizi için Çizelge 4.22'deki kullanılan birim fiyatlar Çizelge 4.23'te özet olarak verilmiştir. Buna göre, 1 m³ KA'nın temini ve sıkıştırılması, taşıma maliyeti hariç 39.69 TL ve 1 m³ O'nun temini ve sıkıştırılması taşıma maliyeti, hariç 30.86 TL olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.23. Maliyet hesaplarında kullanılan birim fiyatlar, a) 100 KA, b) 100 O

(a)

İşlem tanımı	Birimi	Miktarı	Birim fiyatı (TL)
Taştan konkasörle kırılmış ve elenmiş 30 mm'ye kadar kırma taş hazırlanması	m ³	1	34.36
İnşaat sahasına malzemenin taşınması	ton	1	11.385
Çakıl temin edilerek, makine ile serme, sulama ve sıkıştırma yapılması + Taştan konkasörle kırılmış ve elenmiş 30 mm'ye kadar kırma taş hazırlanması	m ³	1	39.69

(b)

İşlem tanımı	Birimi	Miktarı	Birim fiyatı (TL)
Taştan konkasörle kırılmış ve elenmiş 30 mm'ye kadar kırma taş hazırlanması	m ³	1	25.53
İnşaat sahasına malzemenin taşınması	ton	1	3.967
Çakıl temin edilerek, makine ile serme, sulama ve sıkıştırma yapılması + Taştan konkasörle kırılmış ve elenmiş 30 mm'ye kadar kırma taş hazırlanması	m ³	1	30.86

Maliyet analizi için GYT kalınlıkları, "Kalınlık hesabı sonuçları" bölümünde bulunan GYT kalınlık değerleri olarak alınmıştır. Çizelge 4.24'te maliyet analizinin sonuçları verilmiştir. Buna göre 100 KA'lı yolda 256655.41 TL, 100 O'lu yolda 149496.94 TL ve 50 KA + 50 O'lu yolda 193440.80 TL toplam maliyetler bulunmuştur.

Maliyet analizi sonucunda, GYT’inde 100 KA, 100 O ve 50 KA + 50 O kullanılarak oluşturulmuş yolların GYT’lerinin maliyetleri karşılaştırıldığında, 100 KA’lı GYT oluşturmanın, 100 O’lu GYT oluşturmaya göre 107158.47 TL daha fazla maliyetli olduğu görülmüştür. Bu farkın en önemli sebebi KA’nın 35 km mesafe boyunca taşıma maliyetidir. Mazotun maliyetinin yüksek olması 35 km olan bu uzun taşıma mesafesinde KA kullanımını GDBA’ya göre daha maliyetli bir hale getirmiştir. Ayrıca GDBA için “ocakta taş hazırlanması işlemi” sırasındaki patlatma bedeli olmadığından konkasörde kırma işlemine girecek GDBA’nın malzeme fiyatı bazında da KA’dan daha karlı olduğunu göstermiştir.

Çizelge 4.24. Maliyet analizi hesaplama sonuçları

Tasarım Bileşenleri	100 KA	100 O	50 KA 50 O
Temel kalınlığı (cm)	32.81	32.09	31.11
Şerit genişliği (m)	3.50	3.50	3.50
Banket genişliği	2.50	2.50	2.50
γ_{kmax} (kN/m ³)	21.97	19.69	21.14
Yol uzunluğu (km)	1.00	1.00	1.00
Toplam temel malzemesi (m ³)	3937.20	3850.80	3733.20
Toplam temel malzemesi (ton)	8817.56	7729.08	8044.84
Maliyet (TL)	256655.41	149496.94	193440.80

50 KA + 50 O ile oluşturulmuş GYT’nin maliyeti 100 KA’lı olan GYT’ye göre 63214.61 TL daha az ve 100 O’lu olan GYT’ye göre 43943.86 TL daha fazla olmuştur. Buradaki asıl etken yine KA’nın taşıma mesafesinin uzunluğu nedeniyle daha fazla maliyetli olmasıdır. Bu etken aynı zamanda 100 KA’ya göre 50 KA + 50 O’da, KA oranı azaldığından taşıma maliyeti azalmasına rağmen yine de 100 O’ya göre maliyetin fazla olmasında etkili olmuştur.

100 O’nun GYT maliyetinin 100 KA’lı GYT maliyetine oranı %58.25 ve 50 KA + 50 O’nun GYT maliyetinin 100 KA’lı GYT maliyetine oranı %75.37 olmuştur. 100 O’nun özellikleri KTŞ (2013) sınır şartlarına 50 KA + 50 O’ya göre daha az uymaktadır. Bu nedenle 50 KA + 50 O’lu malzemenin yol GYT’inde kullanılması daha güvenilir olacaktır.

Yapılan analiz yaşam döngüsü maliyet analizi olmadığından proje süresi boyunca performans kaybına bağlı olarak ortaya çıkabilecek bakım, onarım, işletme maliyetleri vb. maliyetler bu tez kapsamı dışında bırakılmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında inşaat yapım ve yıkım atıklarından olan GDBA'ların, Türkiye'de GYT ve GYAT'de kullanılabilirliği araştırılmıştır.

- Konya ili Meram Belediyesi sınırları içerisindeki 3 farklı bina yıkıntısından GDBA elde etmek amacıyla beton bloklar temin edilmiştir. GDBA'nın GYT ve GYAT'te kullanılabilirliğini geleneksel olarak GYT'de ve GYAT'de kullanılabilen malzemelerle karşılaştırmalı olarak inceleyebilmek için, Eğribayat bölgesindeki bir taşocağından DA ve kırma tesisinden KA temin edilmiştir.
- Beton blokların elde edildiği 3 farklı binanın yıkıntılarında karot numuneler alınmış ve bunların basınç dayanımları belirlenmiştir. GDBA'ların isimlendirmesi bu karot numunelerin basınç dayanımlarında göre yapılmıştır. Karot numune dayanımları sırasıyla 18.5, 15.2 ve 11.7 MPa olarak bulunan betonlardan elde edilen GDBA'lar sırasıyla G, O ve Z olarak isimlendirilmiştir.
- Deney ve analizlerde dikkate alınmak üzere tasarımlar meydana getirilmiştir. Bu tasarımlar; sadece KA, DA, G, O ve Z'nin kendisinden oluşan 5 tane %100 malzemeli tasarımlar ile G, O ve Z'nin KA ve DA ile %25 - %50 - %75 oranlarında karıştırılmasıyla oluşan 18 tane karışım tasarımları olmak üzere toplam 23 farklı tasarım olarak belirlenmiştir. Malzemelerin hem saf hem de karışımlarıyla, GDBA'ların geleneksel agrega ile karıştırıldığı ve tek başına kullanıldığı durumların değerlendirilmesinin yapılması amaçlanmıştır.
- Beton bloklar laboratuvar tipi çeneli kırıcıyla KTS'de (2013) GYT ve GYAT için verilmiş olan gradasyona uygun hale getirilmek amacıyla, en büyük tane boyutu 25 mm olacak şekilde kırılmışlardır. Elek analizi yapılarak GDBA'lar ile KA ve DA uygun gradasyona getirilmiştir. Bu aşamadan sonra tüm malzemeler deneylere hazır hale getirilmiştir.
- Laboratuvar deneyleri, agrega ve performans olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Ayrıca SEM ve fraktal boyut olmak üzere görüntü analizi yapılmıştır. KTS (2013) şartlarına uygun olan 3 farklı tasarım ile kalınlık hesabı yapılmış ve burada bulunan kalınlıklar kullanılarak maliyet analizi gerçekleştirilmiştir.

- Agrega deneyleri olarak elek analizi, yassılık endeksi, kıvam limitleri, tane yoğunluğu ve su emme, LA aşınma, magnezyum sülfat dayanıklılığı ve ASR deneyleri yapılmıştır.
- KTŞ'de (2013) yassılık endeksi için GYAT'de %30 ve GYT'de %25 sınır değerleri verilmiştir. 100 KA, 100 DA, 100 G, 100 O ve 100 Z'de sırasıyla %19.14, %5.94, %6.72, %7.20 ve %6.34 yassılık endeksi değerleri elde edilmiştir. Bu durum malzemelerin kırma aşamalarıyla yakından ilgili olup, 100 KA'da oldukça yüksek yassılık endeksi bulunmasına rağmen karışım tasarımlarında yassılık endeksi değerleri 100 KA'ya göre daha düşük elde edilmiş, tüm malzemelerin bu özellik bakımından GYT ve GYAT'de kullanılması ile ilgili bir sorun söz konusu olmamıştır.
- GYT malzemelerinin "NP" özellikte olması ve GYAT malzemelerinin likit limitinin %25'ten küçük ve plastisite indisinin %6'dan küçük olması gerektiği KTŞ'de (2013) verilmiştir. Buna göre 100 DA dışındaki tüm malzemeler ve karışım tasarımları "NP" özellikte olduğundan bu özellik bakımından bir sorun meydana gelmemiştir. 100 DA için likit limit %28.61 ve plastisite indisi %7.44 olduğundan bu şartı sağlamamıştır.
- 100 KA, 100 DA, 100 G, 100 O ve 100 Z'de sırasıyla (iri - ince agrega olmak üzere) $2.75 \text{ gr/cm}^3 - 2.48 \text{ gr/cm}^3$, $2.74 - 2.48 \text{ gr/cm}^3$, $2.62 \text{ gr/cm}^3 - 2.35 \text{ gr/cm}^3$, $2.67 \text{ gr/cm}^3 - 2.39 \text{ gr/cm}^3$ ve $2.69 \text{ gr/cm}^3 - 2.40 \text{ gr/cm}^3$ tane yoğunluk değerleri ile %0.63 - %0.78, %2.49 - %3.49, %4.63 - %6.59, %2.88 - %6.00 ve %3.56 - %6.75 su emme değerleri elde edilmiştir. GDBA'larda KA ve DA'ya göre daha az tane yoğunlukları ve daha fazla su emme değerlerinin elde edilmesinin sebebi GDBA'larda yoğunluğu düşük ve boşluklu bir yapıya sahip olan yapışık çimento harcıdır. KTŞ'ye (2013) göre su emmenin GYT'de %3 ve GYAT'de %3.5'ten küçük olması gerektiğinden, GDBA'lar bu şartı sağlayamamıştır. Fakat özellikle KA - GDBA karışımlarında %3'ten az su emme değerleri elde edildiğinden GDBA - KA karışımları bu özellik bakımından sorun teşkil etmemiştir.
- KTŞ'de (2013) GYT ve GYAT malzemeleri için en yüksek LA aşınma değerinin sırasıyla %35 ve %45 olması gerektiği verilmiştir. 100 KA ve 100 DA %31.09 ve %33.76 LA aşınma değerleriyle bu şartları sağlarken; 100 G, 100 O ve 100 Z sırasıyla %46.66, %40.39 ve %45.03 değerleri ile GYT şartını sağlayamamıştır. 100 O dışındakiler ise GYAT şartını da sağlayamamıştır.

Fakat %75 KA + %25 GDBA'lı karışımlar LA açısından bir sorun teşkil etmemiştir. GDBA'larda bu denli LA aşınma değeri yapışık çimento harcının deney esnasında esas agrega tanelerinden parçalanarak ayrılmasından ileri gelmektedir.

- LA aşınma deneyinde olduğu gibi magnezyum sülfat deneylerinde de GDBA'larda yüksek miktarlarda malzeme kaybı görülmüştür. 100 KA, 100 DA, 100 G, 100 O ve 100 Z'de sırasıyla, %2.33, %9.69, %26.94, %25.31 ve %22.94 malzeme kaybı meydana gelmiştir. Buradaki durum LA aşınma deneyi ile benzerlik göstermektedir; çünkü yapışık çimento harcı bu deneyde sülfat hücumuna maruz kalmış ve parçalanıp, agrega tanesinden ayrılmıştır. KTŞ'de (2013) GYT ve GYAT malzemesi için verilmiş olan %20 ve %25 sınır kayıp değerlerine göre GDBA'lar GYT için gerekli şartı sağlayamadığı gibi 100 Z dışında GYAT sınır şartını da sağlayamamıştır. Karışım tasarımlarında ise birkaç tasarım hariç şartlar sağlanmıştır.
- ASR deneyleri sonucunda 100 KA, 100 DA, 100 G, 100 O ve 100 Z'de 14 gün sonunda toplam %0.020, %0.022, %0.035, %0.027 ve %0.029 uzama değerleri elde edilmiştir. Bu değerler ASR bakımından GDBA'ların tehlikeli olmadığını göstermektedir. KTŞ'de (2013) GYT ve GYAT malzemeleri için ASR için bir şart bulunmadığından, ASR malzemelerin sadece bir fiziksel - kimyasal özelliği olarak verilmiştir.
- Performans deneyleri olarak modifiye Proctor, yaş ve kuru CBR, geçirimsizlik, esneklik modülü ve kalıcı deformasyon deneyleri yapılmıştır.
- Modifiye Proctor deneyi sonucunda kompaksiyon parametreleri elde edilmiştir. 100 KA, 100 DA, 100 G, 100 O ve 100 Z'de sırasıyla %5.35, %4.40, %9.75, %8.60 ve %9.60 optimum su muhtevaları ile 21.97 kN/m³, 22.22 kN/m³, 19.48 kN/m³, 19.69 kN/m³ ve 19.70 kN/m³ maksimum kuru birim hacim ağırlıklar elde edilmiştir. Optimum su muhtevaları GDBA'larda KA ve DA'ya göre daha yüksek bulunmuşken, maksimum kuru birim hacim ağırlıklarda tersi bir durum meydana gelmiştir. Aynı durum su emme ve tane yoğunlukları arasında da elde edilmiştir. Buna göre su emme ve tane yoğunluk değerleri kompaksiyon parametrelerini etkilemiştir.
- KTŞ'de (2013) GYT ve GYAT malzemeleri için sırasıyla en az %30 ve %100 yaş CBR değerleri istenmektedir. Tez çalışması kapsamında hem yaş hem de kuru CBR deneyleri yapılmıştır. Buna göre 100 KA, 100 DA, 100 G, 100 O

ve 100 Z'de sırasıyla (kuru CBR - yaş CBR olmak üzere) %152.21 - %148.56, %79.15 - %75.14, %115.72 - %114, %122.59 - %129.42, %127.36 - %133.77 CBR değerleri elde edilmiştir. GDBA'lar GYT ve GYAT şartlarını bu değerlere göre sağlamışlardır. Fakat karışım tasarımlarında CBR değerlerinde düşüşler gözlenmiştir. Bu durumun nedeni ise farklı şekil özelliklerine sahip tanelerin karıştırılması sonucu kötü bir yerleşimin meydana gelmesi olabilir. Buna rağmen %50 GDBA + %50 KA'lı ve %75 KA + %25 GDBA'lı karışım tasarımlarında genel olarak %100 yaş CBR'den yüksek değerler elde edilmiştir.

- Geçirimsizlik deneyleri sabit seviyeli ve düşen seviyeli deney düzeneklerinde gerçekleştirilmiştir. 100 KA, 100 DA, 100 G, 100 O ve 100 Z'de sırasıyla 1.411×10^{-5} m/s, 5.435×10^{-7} m/s, 9.090×10^{-6} m/s, 1.049×10^{-5} m/s ve 1.035×10^{-5} m/s geçirimsizlik katsayıları bulunmuştur. KA ve GDBA'larda geçirimsizlik katsayıları genel olarak birbirine yakın değerlerde iken DA'lı karışımlarda ve DA'da geçirimsizlik katsayıları oldukça düşük elde edilmiştir. Bunun nedeni DA'nın ince tanelerinin plastik özellik göstermesi olabilir. KA ve GDBA'ların GYT ve GYAT'de kullanıldıklarında suyun drenajı bakımından bir sorun oluşturmayacakları söylenebilir ki bu, esnek üstyapı tabakaları için gerekli bir özelliktir.
- Esneklik Modülü ve kalıcı deformasyon deneyleri AASHTO T 307 (2012) standardına göre gerçekleştirilmiş olup, aslında bu standartta kalıcı deformasyonların bulunması yer almamaktadır. Bu tez çalışması kapsamında kalıcı deformasyon deneyleri toplam 12500 çevrim olarak esneklik modülü deneyinin ardından aynı numunede yapılmıştır. Esneklik modülü değerleri AASHTO, Uzan (1985) ve MEPDG modellerinde göre modellenip; 107 kPa, 140 kPa ve 208 kPa toplam gerilmeler için esneklik modülü değerleri bulunmuştur. Buna göre GDBA'ların en az KA kadar iyi esneklik modülü davranışı gösterdiği belirlenmiş; fakat kalıcı GDBA'ların KA ve DA'ya göre daha fazla kalıcı deformasyon yaptığı görülmüştür.
- Görüntü analizi olarak SEM ve fraktal boyut analizleri gerçekleştirilmiştir. SEM analizi sonuçlarına göre GDBA'larda gerçekleşmesi beklenen ikincil çimentolanma gözlemlenmemiştir. Alan - çevre yöntemine göre gerçekleştirilen fraktal boyut analizi sonucunda 100 KA, 100 DA, 100 G, 100 O ve 100 Z'de sırasıyla 1.059, 1.046, 1.079, 1.076 ve 1.083 olarak elde

edilmiştir. Yüksek fraktal boyut değeri, yüksek pürüzlülük ve köşeliliğin göstergesidir. GDBA'ların fraktal boyutlarının ise KA ve DA'ya göre yüksek elde edildiği belirlenmiş, buna göre GDBA'lardaki yüksek esneklik modülü ve CBR değerleri üzerindeki etkilerden birinin bu durum olabileceği düşünülmüştür.

- Magnezyum sülfat dayanıklılığı deney sonuçları ile LA aşınma deney sonuçları, optimum su muhtevası ile su emme değerleri ve tane yoğunlukları ile maksimum kuru birim hacim ağırlıklar arasında ilişkiler bulunmuştur. Buna göre magnezyum sülfat dayanıklılığı deneyindeki malzeme kaybı ile LA aşınma deneyindeki malzeme kaybı birbiriyle benzer eğilim göstermiştir. Optimum su muhtevası, su emme değeri arttıkça artmış ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri, tane yoğunluğu ile beraber artmıştır. Geçirimsizlik katsayısının yassılık endeksinin artmasıyla arttığı gözlemlenmiştir. Esneklik modülü ile CBR ve diğer özellikler arasında bir ilişki bulunamamıştır. GDBA'ların elde edildiği betonların dayanımlarının, GDBA özellikleri üzerinde herhangi bir etkisi belirlenmemiştir.
- KTŞ'deki (2013) GYT ve GYAT malzemelerinin sahip olması gereken özelliklerin sınır şartlarına uygun olduğu belirlenen 100 O ve 50 KA + 50 O tasarımları, 100 KA tasarımı da karşılaştırma amacıyla kullanılmak üzere, esnek üstyapı kalınlık hesabında dikkate alınmıştır. Burada karışım tasarımının kullanılmasındaki amaç; uygulamada %100 GDBA'nın yeteri kadar mevcut olamaması durumunda bu malzemenin KA ile kullanımını değerlendirmek ve %100 GDBA'nın olumsuz olan bazı dayanıklılık özelliklerini, GDBA'yı KA ile karıştırarak yok etmek olmuştur. Çünkü karışım tasarımlarında LA aşınma, magnezyum sülfat dayanıklılığı ve su emme özelliklerinde iyileşme görülmüştür. 1 km uzunluk için tasarlanan esnek üstyapı GYT'sinin kalınlık hesabında MEPDG'de önerilen 208 kPa toplam gerilmeye karşılık gelen esneklik modülleri kullanılmış ve 100 KA, 100 O ve 50 KA + 50 O'lu GYT'de sırasıyla 32.81 cm, 32.09 cm ve 31.11 cm kalınlıkları hesaplanmıştır. Bu durumda en fazla kalınlık KA'lı GYT'de elde edilmiştir. Bu sebeple KA ve GDBA %50 - %50 oranlarda karıştırılıp kullanılabilir.
- Kalınlıkları hesaplanan GYT'ler için maliyet analizi yapılmıştır. Bu analizde malzeme kırma, kullanılacak malzeme miktarı, malzeme taşıma ve serme -

yerleştirme - sıkıştırma maliyetleri göz önüne alınmıştır. Maliyet analizinde GDBA ile KA malzeme arasındaki en büyük farklılığın taşıma maliyetlerinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca malzeme temin etme aşamasında kırma tesisinde KA için kayaçların patlayıcı ile patlatılması ve ardından konkasöre işlemi GDBA için olmadığından, GDBA için malzeme temini de daha az maliyetli olmuştur. Buna göre 100 O'lu ve 50 KA + 50 O'lu GYT maliyetlerinin 100 KA'lı GYT maliyetine oranı sırasıyla %58.25 ve %75.37 olmuştur. Böylece dayanıklılık özellikleri 100 O'ya göre daha iyi olan 50 KA + 50 O'lu malzemenin GYT'de 100 KA yerine Türkiye'de kullanılması mümkündür.

- Tez çalışmasında elde edilen bu sonuçlara göre GDBA'ların tek başlarına olmasa bile KA ile karışımlarının GYT ve GYAT'de kullanılması mümkündür. Tek başlarına kullanılmasına en büyük engel dayanıklılık özellikleri olmasına rağmen dayanım bakımından KA'ya eş derecede performans göstermişlerdir. Ayrıca GDBA'ların DA ile karışımlarının GYAT malzemesi olarak kullanılmaya elverişli olduğu belirlenmiştir.

5.2 Öneriler

- Literatürde esneklik modülünün CBR değerine bağlı eşitliklerle bulunmasına ilişkin çalışmalar olmasına rağmen, bu çalışmada böyle bir ilişkinin olmadığına dair sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre CBR ve esneklik modülü arasında bir ilişki bulunamamıştır. Esnek üstyapı kalınlık hesabında doğrudan kullanılan esneklik modülünün CBR'ye bağlı eşitliklerle bulunması bu nedenle güvenilir olmayacaktır. Buna göre esneklik modülünün laboratuvar ortamında ilgili standartlara göre TYÜEBD ile belirlenmesi gerekmektedir.
- Magnezyum sülfat dayanıklılığı dneyinde malzeme kaybı GDBA'larda çok fazla olmuştur. Fakat GYT ve GYAT malzemelerinin donma - çözülme davranışını belirlemede kullanılan bu deneyde, GDBA'larda mevcut olan yapışık çimentonun sülfat hücumu nedeniyle aşırı şekilde parçalandığı görülmüştür. Bu nedenle GDBA'ların sülfat içeren ortamlarda ve sülfatlı yer altı suyu varlığında kullanılmasına çok dikkat edilmelidir. Sülfat etkisinin olmayacağı alanlarda GDBA kullanılacaksa magnezyum sülfat dayanıklılığı dışında başka bir deneyle donma - çözülme davranışı belirlenmelidir. Ayrıca GDBA'lar KA ile karıştırılarak, sülfatın olumsuz etkisi bu malzemelerin kullanılacağı GYT ve GYAT'lerde azaltılabilir.
- GDBA'ların KA'ya dayanım özellikleri yönünden benzer özellikler göstermesi ve KA ile GDBA karışımlarının da GDBA'ların saf hallerinin olumsuz dayanıklılık özelliklerini bertaraf etmesi nedeniyle, GDBA'ların KA ile beraber Türkiye'de GYT ve GYAT'de kullanılması önerilmektedir. Bunun için KTŞ'de (2013) düzenlemeler yapılmalı ve kentsel dönüşüm uygulamaları sırasında ortaya çıkan bu atık malzemenin kullanılmasına imkan verilmelidir. Böylece depo sahalarında toplanan inşaat yıkıntı atıklarının çevre kirliliğine sebep olmasının önüne geçilecek ve sürdürülebilirlik sağlanmış olacaktır.
- DA ve GDBA - DA karışımları GYT'de kullanılacak özelliklere sahip değilken, GDBA'ların DA ile karışımları GYAT'de kullanılabilir. Bu nedenle DA - GDBA karışımlarının GYAT olarak kullanılması önerilmektedir.
- Daha ileri seviyede bir çalışmada farklı kaynaklardan elde edilen GDBA'ların farklı iklim şartlarında GYT ve/veya GYAT'de kullanımı deneysel olarak ülkemiz için araştırılmalı ve bir uygulama ile GDBA'ların esnek üstyapıda GYT ve GYAT'de kullanılabilirliği incelenmelidir.

KAYNAKLAR

- AASHTO, 1993. Guide for design of pavement structures. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington D.C.
- AASHTO M-145-91, 2004. Classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington D.C.
- AASHTO T224, 2004. Correction for coarse particles in the soil compaction test. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington D.C.
- AASHTO T 307-99, 2012. Standard method of test for determining the resilient modulus of soils and aggregate materials. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington D.C.
- Akbulut, S., 2002, Fractal dimensioning of sand grains using image analysis system, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (3), 329-334.
- Arm, M., 2001, Self-cementing properties of crushed demolished concrete in unbound layers: results from triaxial tests and field tests, *Waste Management*, 21 (3), 235-239.
- Arshad, M. ve Ahmed, M. F., 2017, Potential use of reclaimed asphalt pavement and recycled concrete aggregate in base/subbase layers of flexible pavements, *Construction and Building Materials*, 151, 83-97.
- Arulrajah, A., Piratheepan, J., Ali, M. M. Y. ve Bo, M. W., 2012, Geotechnical properties of recycled concrete aggregate in pavement sub-base applications, *Geotechnical Testing Journal*, 35 (5), 743-751.
- Arulrajah, A., Piratheepan, J., Disfani, M. M. ve Bo, M. W., 2013, Resilient moduli response of recycled construction and demolition materials in pavement subbase applications, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25 (12), 1920-1928.
- Arulrajah, A., Disfani, M. M., Horpibulsuk, S., Suksiripattanapong, C. ve Prongmanee, N., 2014a, Physical properties and shear strength responses of recycled construction and demolition materials in unbound pavement base/subbase applications, *Construction and Building Materials*, 58, 245-257.
- Arulrajah, A., Piratheepan, J. ve Disfani, M. M., 2014b, Reclaimed asphalt pavement and recycled concrete aggregate blends in pavement subbases: Laboratory and field evaluation, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26 (2), 349-357.
- ASTM D2434, 2006. Standard test method for permeability of granular soils. ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM D2487, 2017. Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System). ASTM International, West Conshohocken.

- ASTM D4718, 2015. Correction of unit weight and water content for soils containing oversize particles. ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM D5856, 2015. Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of porous material using a rigid-wall, compaction-mold permeameter. ASTM International, West Conshohocken.
- Ayan, V., Limbachiya, M. C., Omer, J. R. ve Azadani, S. M. N., 2014, Compaction assessment of recycled aggregates for use in unbound subbase application, *Journal of Civil Engineering and Management*, 20 (2), 169-174.
- Aydilek, A. H., 2015, Environmental suitability of recycled concrete aggregate in highways, *Maryland State Highway Administration. Office of Policy & Research*, Maryland.
- Bahadır, O. ve Demir, A., 2018, Yapım ve yıkım atıklarınının yol temellerinde kullanılabilirliğinin incelenmesi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7 (1), 224-236.
- Barbudo, A., Agrela, F., Ayuso, J., Jimenez, J. R. ve Poon, C. S., 2012, Statistical analysis of recycled aggregates derived from different sources for sub-base applications, *Construction and Building Materials*, 28 (1), 129-138.
- Behiry, A. E. A. E.-M., 2013, Utilization of cement treated recycled concrete aggregates as base or subbase layer in Egypt, *Ain Shams Engineering Journal*, 4 (4), 661-673.
- Bestgen, J. O., Hatipoglu, M., Cetin, B. ve Aydilek, A. H., 2016, Mechanical and environmental suitability of recycled concrete aggregate as a highway base material, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28 (9).
- Boehme, L. ve Joseph, M., 2016, Assessment of the ASR expansion of concrete made with recycled concrete aggregates, *CESB16-Central Europe Towards Sustainable Building 2016-Innovations for Sustainable Future*, Prag, 1006-1013.
- BS EN 8500-2, 2006, Concrete—Complementary British Standard to BS EN 206-1-Part 1: Method of specifying and guidance for the specifier. British Standard Institution, Londra-İngiltere.
- CAN/CSA-A23.2-25A-14, 2014. Test method for detection of alkali-silica reactive aggregate by accelerated expansion of mortar bars. Canadian Standards Association, Ontario-Kanada.
- Cardoso, R., Silva, R. V., de Brito, J. ve Dhir, R., 2016, Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review, *Waste Management*, 49, 131-145.

- Chini, A. R., Kuo, S. S., Armaghani, J. M. ve Duxbury, J. P., 2001, Test of recycled concrete aggregate in accelerated test track, *Journal of Transportation Engineering-Asce*, 127 (6), 486-492.
- Cho, Y. H., Yun, T., Kim, I. T. ve Choi, N. R., 2011, The application of recycled concrete aggregate (RCA) for hot mix asphalt (HMA) base layer aggregate, *Ksce Journal of Civil Engineering*, 15 (3), 473-478.
- Cooley, L. A. ve Hornsby, H., 2012, Evaluation of crushed concrete base strength, *Mississippi Department of Transportation*, Missisipi.
- ÇŞB, 2019a, İnşaat genel fiyat analizleri, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara.
- ÇŞB, 2019b, İnşaat ve tesisat birim fiyatları, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara.
- Cushman ve Wakefield, 2014, Kentsel Dönüşüm Türkiye, *Araştırma Raporu*.
- Drumm, E., Boateng-Poku, Y. ve Johnson Pierce, T., 1990, Estimation of subgrade resilient modulus from standard tests, *Journal of Geotechnical Engineering*, 116 (5), 774-789.
- Edil, T., 2012, Recycled unbound materials, *Final Report, Minnesota Department of Transportation*, Minnesota.
- Estes, B. ve Fensome, G., 2014, Crushing for particle shape, *Aggregates Manager Magazine*, 19 (11).
- Fonseca, N., de Brito, J. ve Evangelista, L., 2011, The influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete made with recycled concrete waste, *Cement & Concrete Composites*, 33 (6), 637-643.
- Gabr, A. R. ve Cameron, D. A., 2012, Properties of recycled concrete aggregate for unbound pavement construction, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24 (6), 754-764.
- Gabr, A. R. ve Cameron, D. A., 2013, Permanent strain modeling of recycled concrete aggregate for unbound pavement construction, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25 (10), 1394-1402.
- Gonzalez, G. ve Moo-Young, H., 2004, Transportation applications of recycled concrete aggregate, *FHWA state of the Practice National Review*.
- Haider, I., Cetin, B., Kaya, Z., Hatipoglu, M., Cetin, A. ve Ahmet, H. A., 2014, Evaluation of the mechanical performance of recycled concrete aggregates used in highway base layers, *Geo-Congress 2014: Geo-characterization and Modeling for Sustainability*, Atlanta, 3686-3694.
- Heukelom, W. ve Klomp, A., 1962, Dynamic testing as a means of controlling pavements during and after construction, *International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements*, Michigan.

- Huang, Y., 2004, Pavement analysis and design, *Prentice-Hall Yayınları*, New Jersey - Englewood Cliffs.
- Hyslip, J. P. ve Vallejo, L. E., 1997, Fractal analysis of the roughness and size distribution of granular materials, *Engineering geology*, 48 (3-4), 231-244.
- İLTEK, Selçuk Üniversitesi,
https://www.selcuk.edu.tr/ileri_arge/birim/web/sayfa/ayrinti/5874/tr:
- Jimenez, J. R., Agrela, F., Ayuso, J. ve Lopez, M., 2011, A comparative study of recycled aggregates from concrete and mixed debris as material for unbound road sub-base from, *Materiales De Construccion*, 61 (302), 289-302.
- Jimenez, J. R., Ayuso, J., Agrela, F., Lopez, M. ve Galvin, A. P., 2012, Utilisation of unbound recycled aggregates from selected CDW in unpaved rural roads, *Resources Conservation and Recycling*, 58, 88-97.
- Jitsangiam, P., Siripun, K., Nikraz, H. ve Leek, C., 2012, Recycled concrete aggregate as a base course material in Western Australian road, *Advances in Transportation Geotechnics II*, 315-321.
- Jitsangiam, P., Boonserm, K., Phenrat, T., Chummuneerat, S., Chindaprasirt, P. ve Nikraz, H., 2015, Recycled concrete aggregates in roadways: Laboratory examination of self-cementing characteristics, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27 (10).
- Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, 2008. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Ankara.
- Kazmee, H., Tutumluer, E. ve Mishra, D., 2012, Effects of material blending on strength, modulus and deformation characteristics of recycled concrete aggregates, *Proceedings of the 91st Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C.
- KGM, 2018. Otoyollar ve devlet yollarının trafik dilimlerine göre yıllık ortalama günlük trafik değerleri ve ulaşım bilgileri (2017). Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı Ulaşım Etütleri Şubesi Müdürlüğü, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kim, S.-H., Ashtiani, R., Vaughan, D., Des Islets, J. ve Beadles, S., 2013, Use of recycled concrete materials as aggregate base layer, *Airfield and Highway Pavement 2013: Sustainable and Efficient Pavements*, Los Angeles, 1264-1277.
- Kumar, R., 2017, Influence of recycled coarse aggregate derived from construction and demolition waste (CDW) on abrasion resistance of pavement concrete, *Construction and Building Materials*, 142, 248-255.

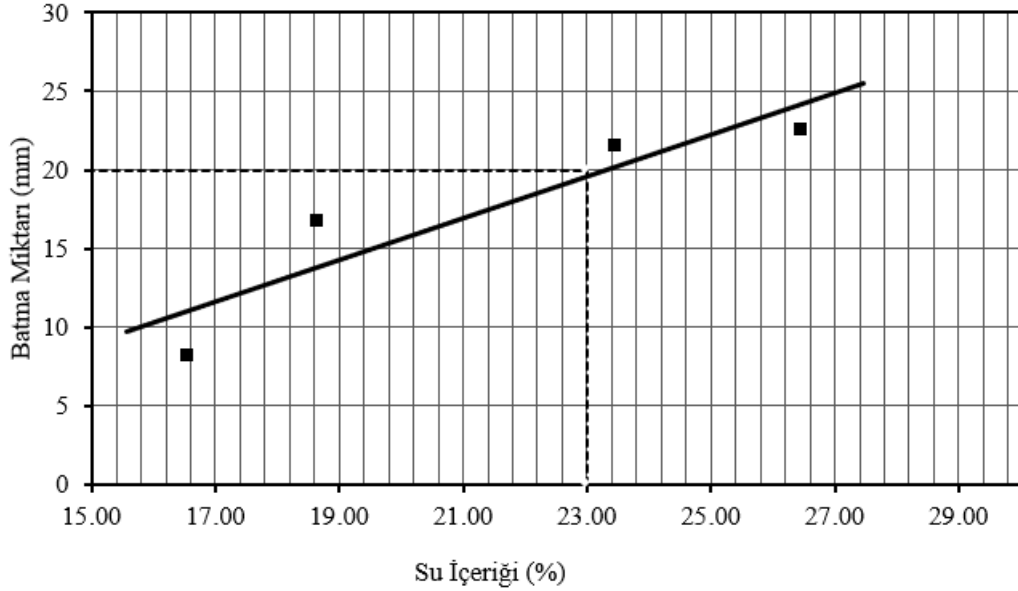
- Kuo, S.-S., Mahgoub, H. S. ve Nazef, A., 2002, Investigation of recycled concrete made with limestone aggregate for a base course in flexible pavement, *Transportation Research Record*, 1787 (1), 99-108.
- Lewis, J., Cetin, B. ve Aydilek, A. H., 2015, Effect of pH on the leaching of elements from highway base layers built with recycled concrete aggregates, *IFCEE 2015*, San Antonio, 2758-2766.
- Li, Y., Sun, X. ve Yin, J., 2010, Mix design of cement-stabilized recycled aggregate base course material, *Paving Materials and Pavement Analysis*, Şanghai, 184-192.
- Limbachiya, M., 2010, Recycled aggregates: Production, properties and value-added sustainable applications, *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 25 (6), 1011-1016.
- Mishra, D. ve Tutumluer, E., 2012, Aggregate physical properties affecting modulus and deformation characteristics of unsurfaced pavements, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24 (9), 1144-1152.
- Molin, C., Larsson, K. ve Arvidsson, H., 2004, Quality of reused crushed concrete strength, contamination and crushing technique, *International RILEM conference on the use of recycled materials in buildings and structures. RILEM Publications*, Barselona, 150-155.
- Morafa, S. H., Saesaei, A. H., Gohari, O. M. ve Afshar, M. J. H., 2017, An experimental investigation on applying the recycled aggregates obtained from oil contaminated concrete exposed to seawater as road unbound pavement materials, *Construction and Building Materials*, 157, 292-299.
- Nataatmadja, A. ve Tan, Y. L., 2001, Resilient response of recycled concrete road aggregates, *Journal of Transportation Engineering-Asce*, 127 (5), 450-453.
- NCHRP 1-37A, 2004, Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures, *National Cooperative Highway Research Program*.
- Nokkaew, K., Tinjum, J. M. ve Benson, C. H., 2012, Hydraulic properties of recycled asphalt pavement and recycled concrete aggregate, *GeoCongress 2012: State of the Art and Practice in Geotechnical Engineering*, Oakland, 1476-1485.
- Park, T., 2003, Application of construction and building debris as base and subbase materials in rigid pavement, *Journal of Transportation Engineering-Asce*, 129 (5), 558-563.
- Poon, C. S. ve Chan, D. X., 2006, Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base, *Construction and Building Materials*, 20 (8), 578-585.
- Poon, C. S., Qiao, X. C. ve Chan, D. X., 2006, The cause and influence of self-cementing properties of fine recycled concrete aggregates on the properties of unbound sub-base, *Waste Management*, 26 (10), 1166-1172.

- Saeed, A. ve Hammons, M., 2008, Use of recycled concrete as unbound base aggregate in airfield and highway pavements to enhance sustainability, *Airfield and Highway Pavements Conference*, Washington D.C., 497-508.
- Sharma, J. ve Singla, S., 2014, Study of recycled concrete aggregates, *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 13, 123.
- Shehata, M. H., Christidis, C., Mikhael, W., Rogers, C. ve Lachemi, M., 2010, Reactivity of reclaimed concrete aggregate produced from concrete affected by alkali-silica reaction, *Cement and Concrete Research*, 40 (4), 575-582.
- Stolle, D., Guo, P. J. ve Liu, Y., 2009, Resilient modulus properties of granular highway materials, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36 (4), 639-654.
- Tam, V. W. ve Le, K. N., 2007, Aggregate testing using 2nd-, 7th-and 10th-order interpolation polynomials, *Resources, Conservation and Recycling*, 52 (1), 39-57.
- Tam, V. W. Y., Gao, X. F., Tam, C. M. ve Chan, C. H., 2008, New approach in measuring water absorption of recycled aggregates, *Construction and Building Materials*, 22 (3), 364-369.
- Thompson, M. ve Robnett, Q., 1976, Final report-Resilient properties of subgrade soils, *Civil Engineering Studies, Transportation Engineering Series* (14).
- Townsend, T. G., Chadik, P., Gupta, N., Kluge, M., Vinson, T. ve Schert, J., 2016, Concrete debris assessment for road construction activities, *Final Report, The Florida Department of Transportation Research Center*.
- TS043.2P, 2009, Recycling concrete pavements. Production of recycled concrete aggregate (RCA), *The American Concrete Pavement Association (ACPA)*, Washington D.C.
- TS 1900-1, 2006. İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 1900-2, 2006. İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri - Bölüm 2: Mekanik özelliklerin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-3, 2012. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 3: Tane şekli tayini - Yassılık endeksi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-2, 2010. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 2 : Parçalanma direncinin tayini için yöntemler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, 2013. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

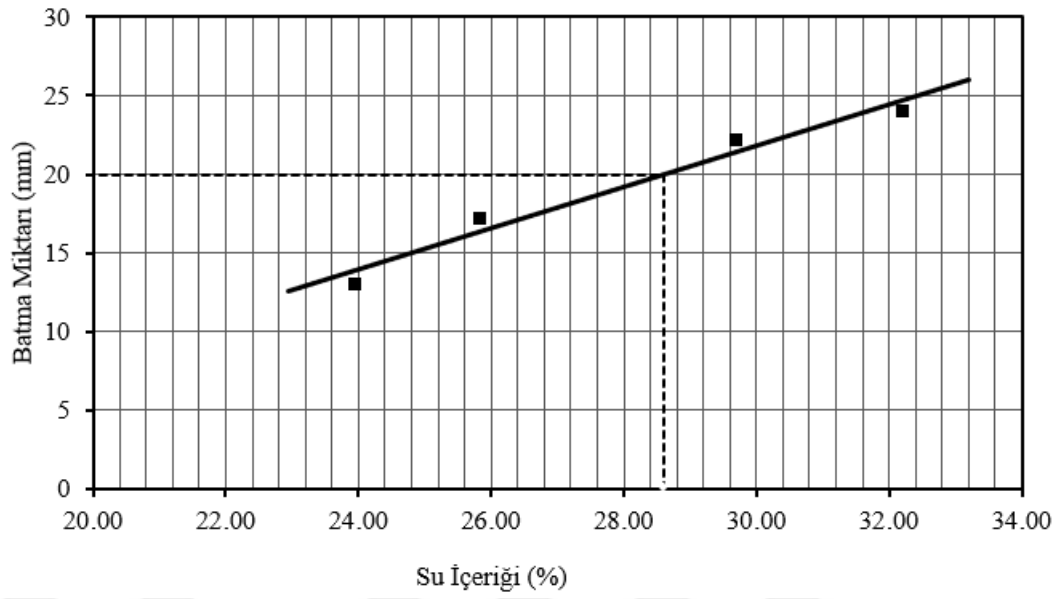
- TS EN 1367-2, 2010. Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tutumluer, E. ve Pan, T., 2008, Aggregate morphology affecting strength and permanent deformation behavior of unbound granular materials, *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, 20 (9), 617-627.
- Uzan, J., 1985, Characterization of granular material, *Transportation Research Record*, 1022 (1), 52-59.
- Vallejo, L. ve Chik, Z., 2010, Measurement of the abrasion of granular materials using fractals, *GeoFlorida 2010: Advances in Analysis, Modeling and Design Conference*, Florida, 560-569.
- Witczak, M. W., 2004. Laboratory determination of resilient modulus for flexible pavement. NCHRP Research Results Digest No. 285, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.
- Yau, A. ve Von Quintus, H. L., 2002, Study of LTPP laboratory resilient modulus test data and response characteristics, *Turner-Fairbank Highway Research Center*.

EKLER**EK-1** Ayrıntılı Kıvam Limitleri Deney Sonuçları**Çizelge EK 1.1.** 100 KA likit limit deney sonuçları

Numune Adı			100 KA		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	7.667	17.897	16.444	8.24	16.55
2	8.734	19.557	17.857	16.74	18.63
3	17.342	29.831	27.458	21.54	23.46
4	14.998	27.574	24.942	22.58	26.47
				Likit limit (%)	23.00

**Şekil EK 1.1.** 100 KA likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği**Çizelge EK 1.2.** 100 DA likit limit deney sonuçları

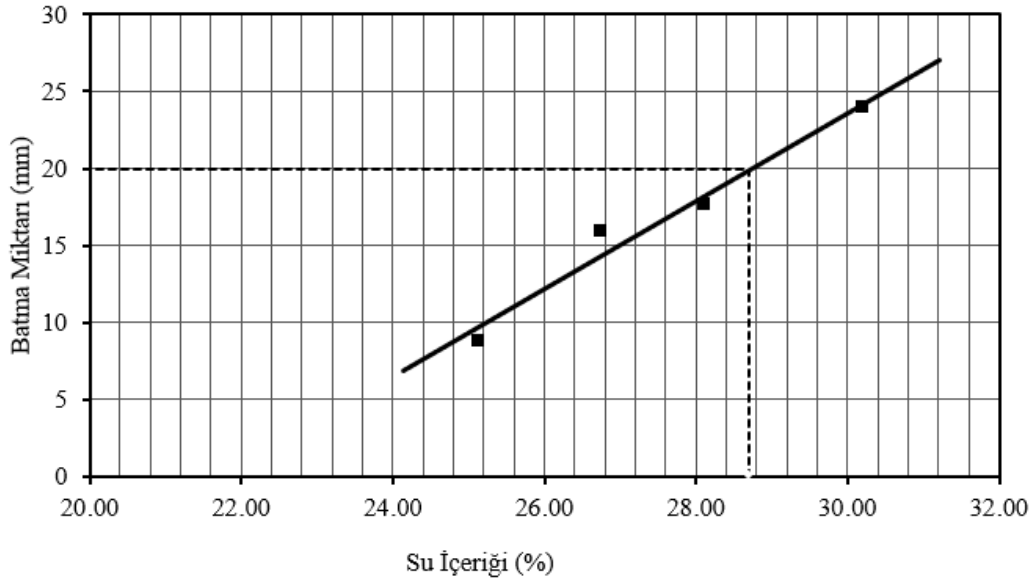
Numune Adı			100 DA		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	6.511	18.280	16.006	13.00	23.95
2	9.414	19.985	17.815	17.12	25.83
3	6.607	18.800	16.008	22.12	29.70
4	7.952	19.298	16.534	24.02	32.21
				Likit limit (%)	28.61



Şekil EK 1.2. 100 DA likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.3. 100 G likit limit deney sonuçları

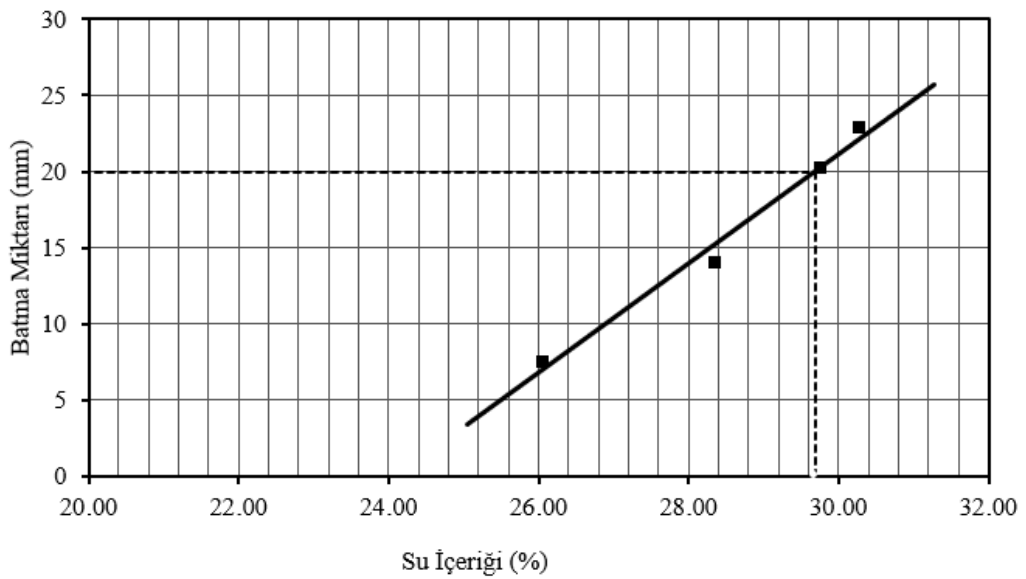
Numune Adı			100 G		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	8.448	19.578	17.343	8.85	25.13
2	5.128	22.564	18.884	15.92	26.75
3	9.879	21.553	18.992	17.67	28.10
4	15.345	29.496	26.213	23.94	30.21
				Likit limit (%)	28.71



Şekil EK 1.3. 100 G likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.4. 100 O likit limit deney sonuçları

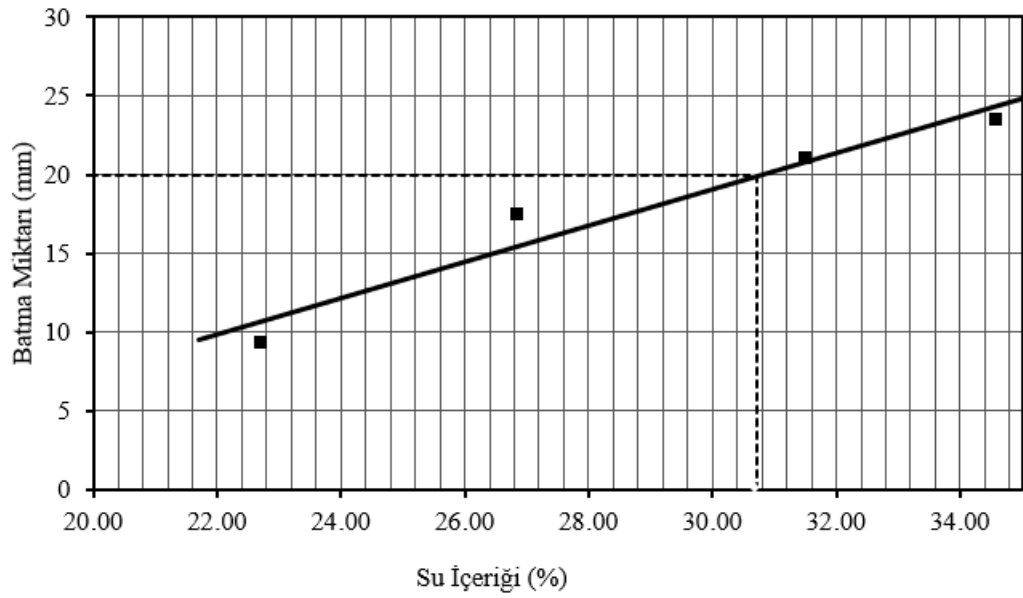
Numune Adı			100 O		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	7.856	18.442	16.254	7.52	26.05
2	9.493	26.645	22.856	14.02	28.35
3	7.556	19.325	16.625	20.16	29.77
4	9.345	21.701	18.829	22.81	30.28
				Likit limit (%)	29.68



Şekil EK 1.4. 100 O likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.5. 100 Z likit limit deney sonuçları

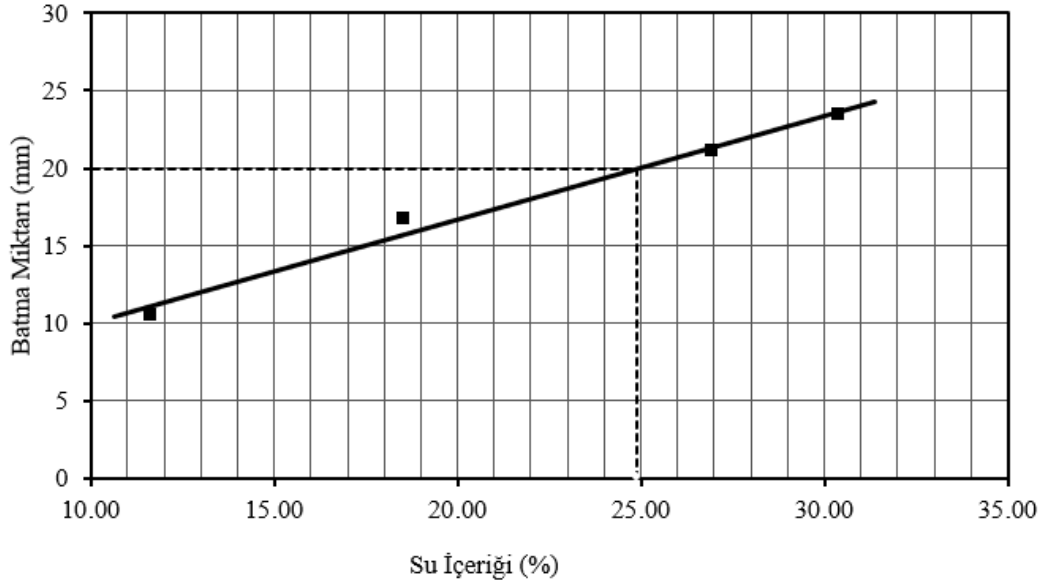
Numune Adı			100 Z		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	6.552	19.658	17.233	9.36	22.70
2	5.882	21.934	18.537	17.42	26.84
3	12.879	25.462	22.447	21.02	31.51
4	16.493	29.242	25.965	23.45	34.60
				Likit limit (%)	30.72



Şekil EK 1.5. 100 Z likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.6. 75 KA 25 G likit limit deney sonuçları

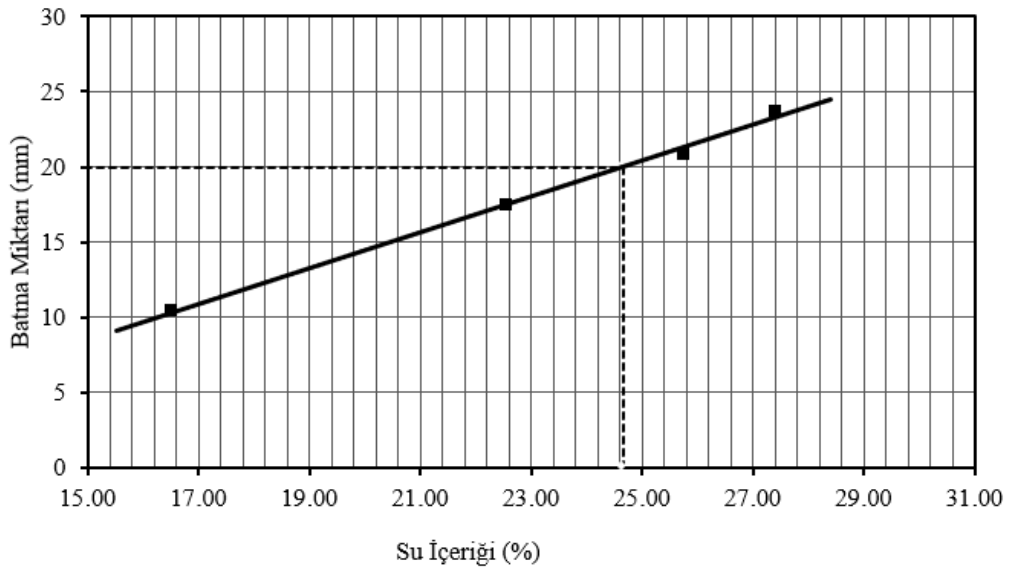
Numune Adı			75 KA 25 G		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	7.943	19.552	18.342	10.55	11.64
2	9.973	20.334	18.714	16.72	18.53
3	15.357	30.945	27.636	21.12	26.95
4	12.761	27.468	24.040	23.45	30.39
				Likit limit (%)	24.89



Şekil EK 1.6. 75 KA 25 G likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.7. 75 KA 25 O likit limit deney sonuçları

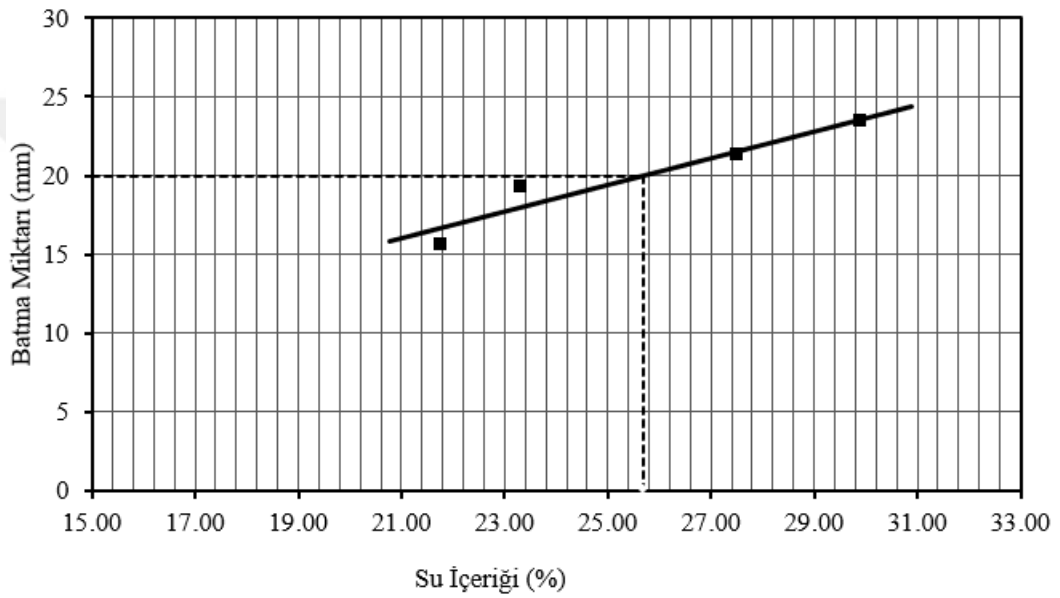
Numune Adı			75 KA 25 O		
Deneş No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	10.385	25.820	23.632	10.42	16.52
2	8.465	19.552	17.512	17.43	22.55
3	6.940	20.840	17.994	20.85	25.75
4	8.749	25.665	22.025	23.65	27.42
				Likit limit (%)	24.66



Şekil EK 1.7. 75 KA 25 O likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.8. 75 KA 25 Z likit limit deney sonuçları

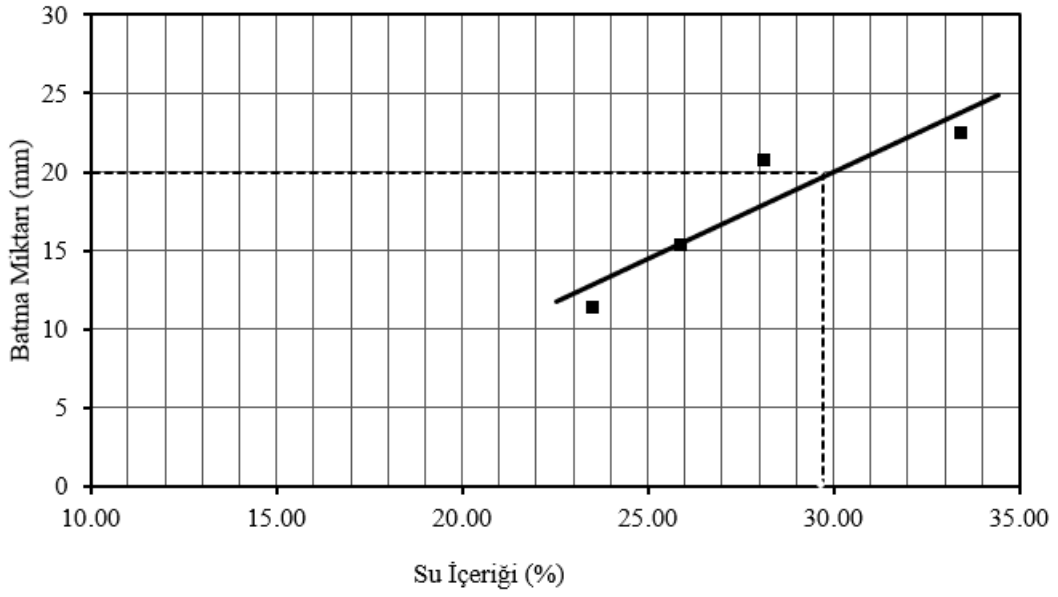
Numune Adı			75 KA 25 Z		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	12.192	24.889	22.620	15.62	21.76
2	6.554	22.864	19.782	19.27	23.30
3	7.965	23.804	20.388	21.37	27.50
4	10.023	23.375	20.303	23.42	29.88
				Likit limit (%)	25.70



Şekil EK 1.8. 75 KA 25 Z likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.9. 75 DA 25 G likit limit deney sonuçları

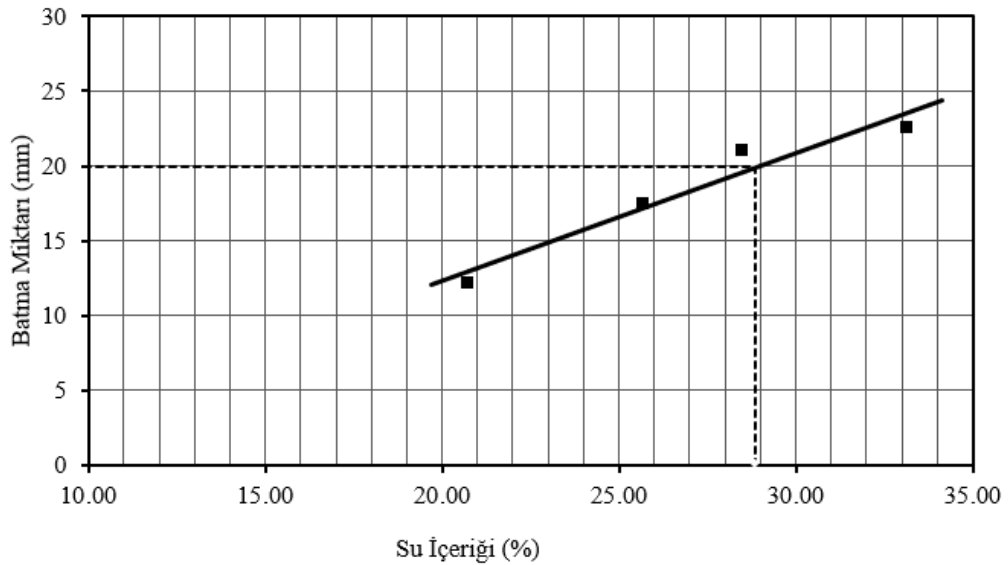
Numune Adı			75 DA 25 G		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	6.158	17.208	15.102	11.39	23.55
2	10.212	24.369	21.456	15.29	25.91
3	7.406	21.005	18.019	20.74	28.14
4	6.504	22.603	18.567	22.46	33.46
				Likit limit (%)	29.70



Şekil EK 1.9. 75 DA 25 G likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.10. 75 DA 25 O likit limit deney sonuçları

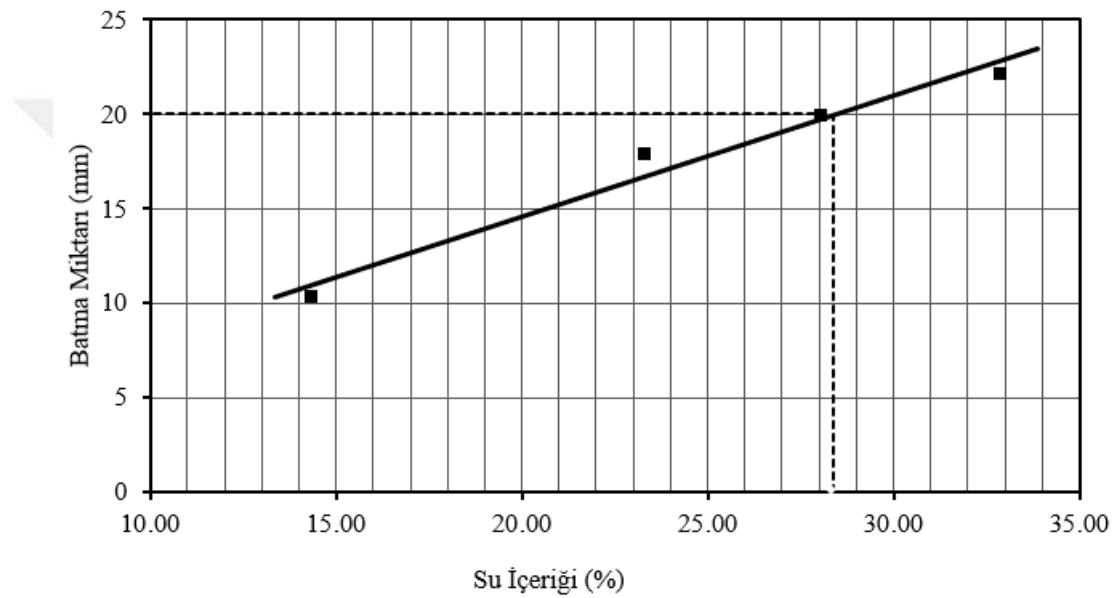
Numune Adı			75 DA 25 O		
Deneş No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	12.964	27.339	24.873	12.19	20.71
2	6.746	16.992	14.897	17.50	25.70
3	8.307	25.008	21.306	21.00	28.48
4	20.046	35.374	31.559	22.56	33.14
Likit limit (%)					28.86



Şekil EK 1.10. 75 DA 25 O likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.11. 75 DA 25 Z likit limit deney sonuçları

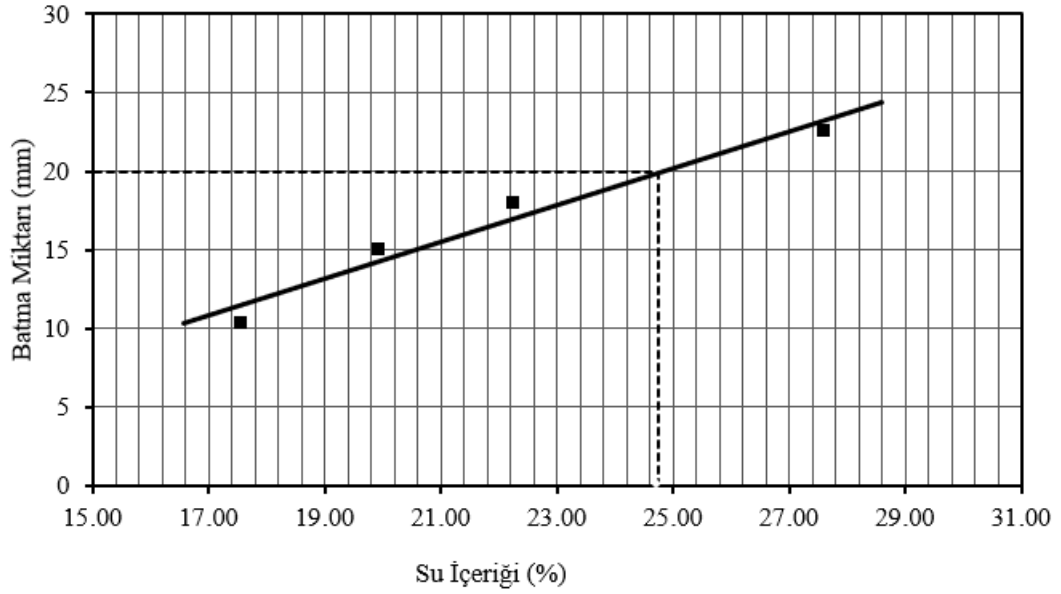
Numune Adı			75 DA 25 Z		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	6.097	19.220	17.574	10.30	14.34
2	9.751	22.092	19.757	17.87	23.34
3	12.176	27.450	24.105	19.92	28.04
4	18.102	29.805	26.910	22.07	32.87
				Likit limit (%)	28.38



Şekil EK 1.11. 75 DA 25 Z likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.12. 50 KA 50 G likit limit deney sonuçları

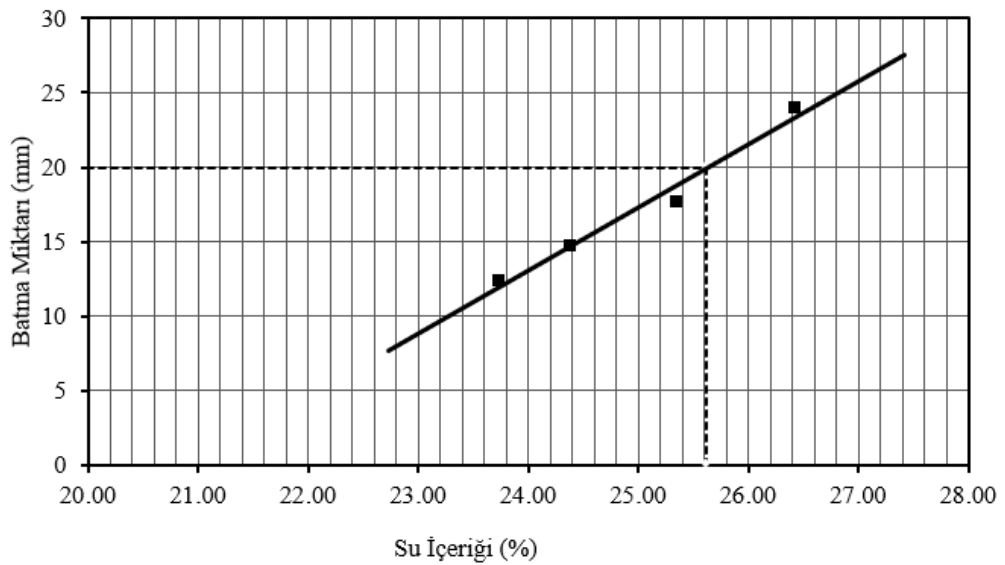
Numune Adı			50 KA 50 G		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	15.321	30.231	28.004	10.29	17.56
2	11.392	25.056	22.786	15.02	19.92
3	14.110	29.680	26.847	17.95	22.24
4	10.343	24.374	21.338	22.52	27.61
				Likit limit (%)	24.74



Şekil EK 1.12. 50 KA 50 G likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.13. 50 KA 50 O likit limit deney sonuçları

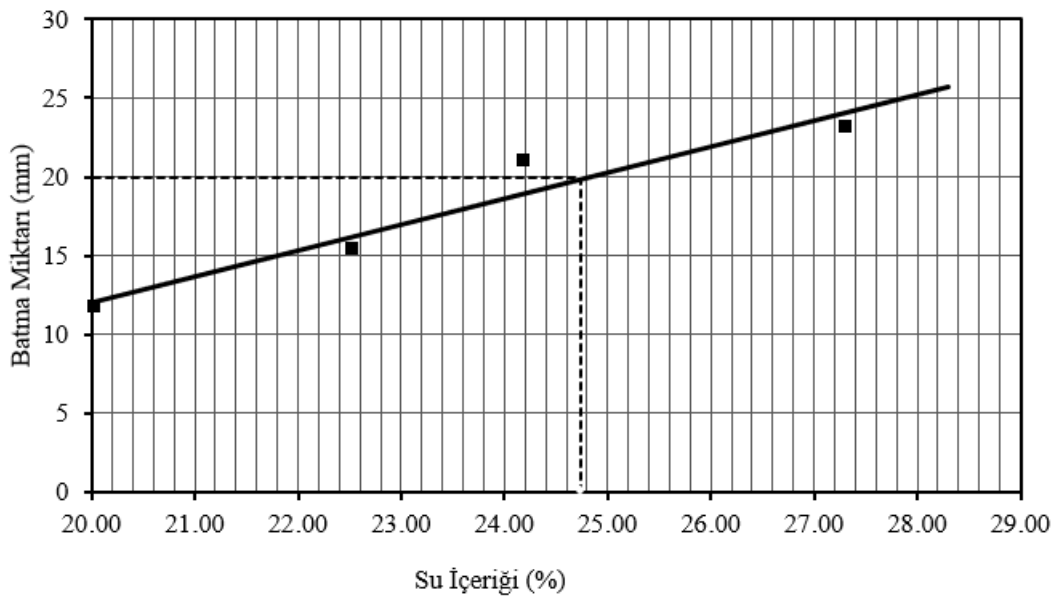
Numune Adı			50 KA 50 O		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	8.214	22.791	19.995	12.35	23.73
2	9.364	24.291	21.364	14.74	24.39
3	12.931	27.369	24.449	17.65	25.35
4	9.474	23.044	20.208	24.00	26.42
				Likit limit (%)	25.62



Şekil EK 1.13. 50 KA 50 O likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.14. 50 KA 50 Z likit limit deney sonuçları

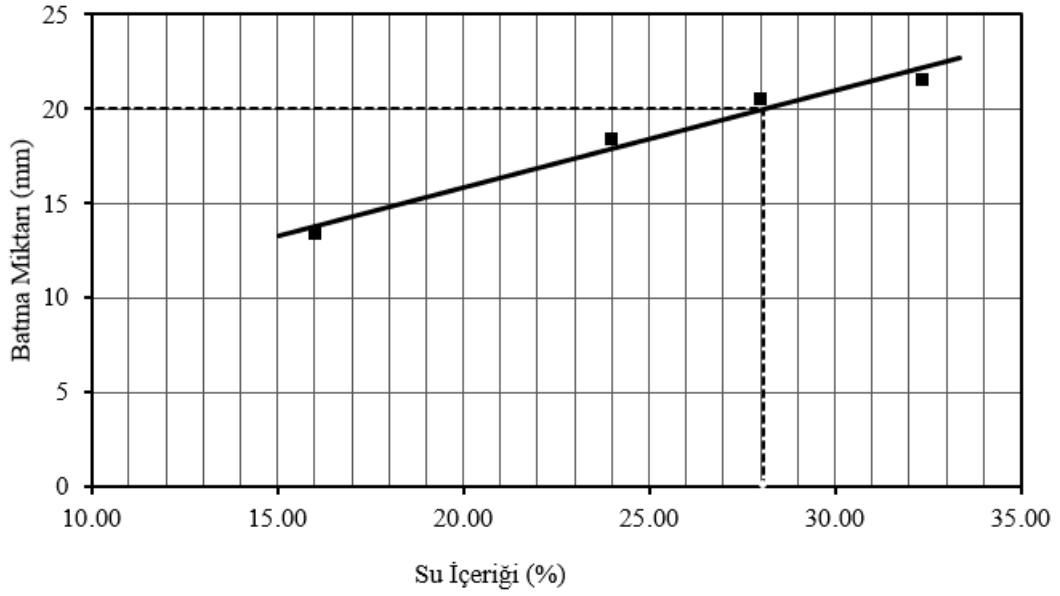
Numune Adı			50 KA 50 Z		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	10.365	27.887	24.963	11.75	20.03
2	20.424	36.449	33.502	15.42	22.53
3	13.530	25.049	22.806	21.00	24.18
4	6.502	17.630	15.243	23.14	27.31
				Likit limit (%)	24.74



Şekil EK 1.14. 50 KA 50 Z likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.15. 50 DA 50 G likit limit deney sonuçları

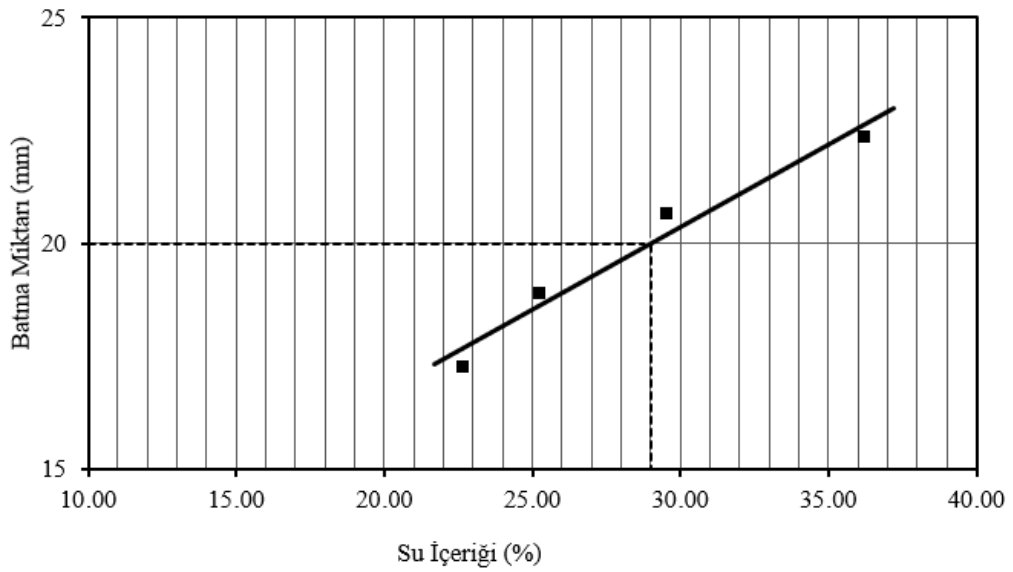
Numune Adı			50 DA 50 G		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	15.501	30.491	28.421	13.37	16.02
2	10.308	24.815	22.007	18.40	24.00
3	14.537	28.764	25.652	20.45	28.00
4	6.800	20.637	17.253	21.49	32.37
				Likit limit (%)	28.08



Şekil EK 1.15. 50 DA 50 G likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.16. 50 DA 50 O likit limit deney sonuçları

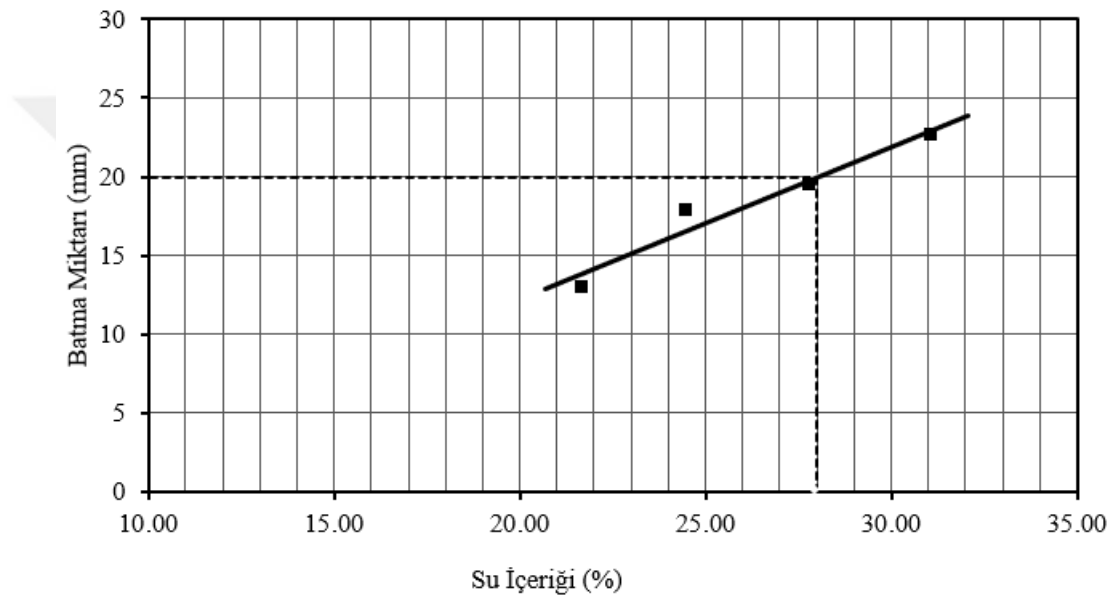
Numune Adı			50 DA 50 O		
Deneş No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	21.650	32.896	30.818	17.27	22.67
2	5.470	18.663	16.003	18.89	25.25
3	12.238	27.751	24.213	20.64	29.54
4	10.486	23.105	19.750	22.35	36.22
				Likit limit (%)	28.98



Şekil EK 1.16. 50 DA 50 O likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.17. 50 DA 50 Z likit limit deney sonuçları

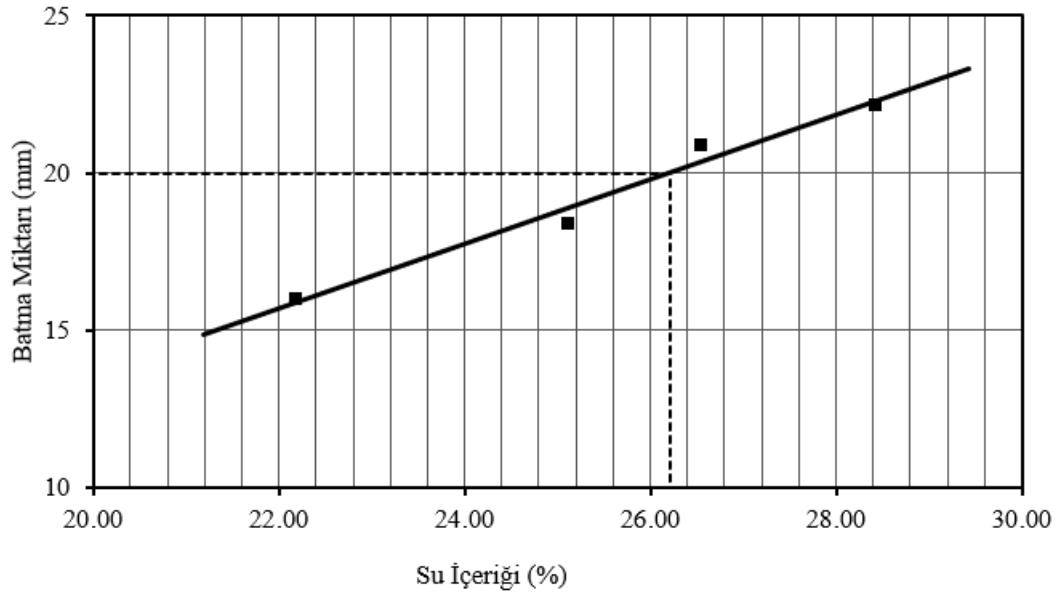
Numune Adı			50 DA 50 Z		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	12.351	24.845	22.620	12.96	21.67
2	6.265	19.874	17.197	17.84	24.49
3	20.650	36.302	32.898	19.47	27.79
4	7.795	20.036	17.134	22.65	31.07
				Likit limit (%)	27.99



Şekil EK 1.17. 50 DA 50 Z likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.18. 25 KA 75 G likit limit deney sonuçları

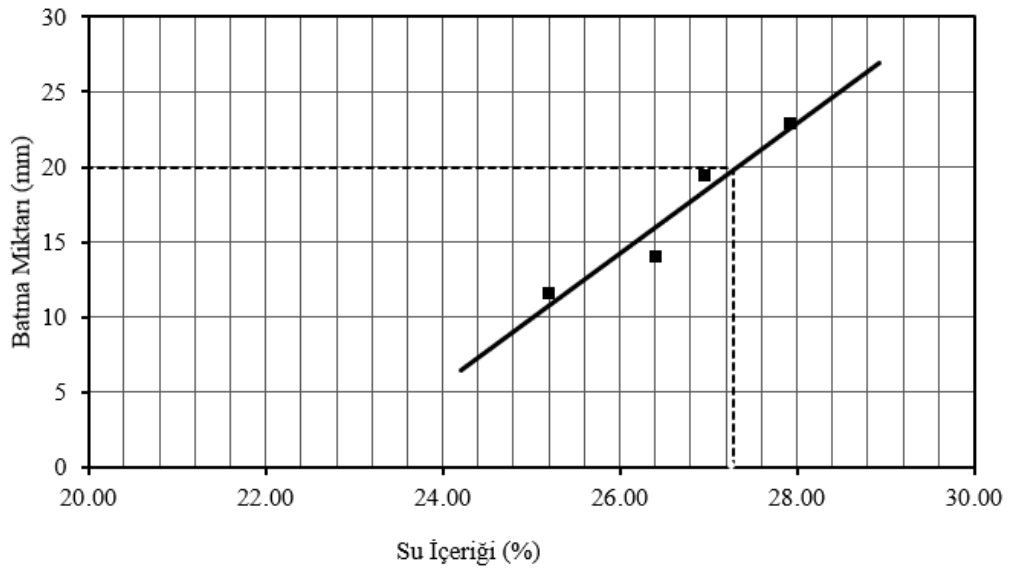
Numune Adı			25 KA 75 G		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	5.761	17.297	15.202	15.98	22.19
2	10.006	25.952	22.750	18.35	25.13
3	20.368	37.009	33.517	20.87	26.56
4	6.994	18.637	16.059	22.15	28.44
				Likit limit (%)	26.21



Şekil EK 1.18. 25 KA 75 G likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.19. 25 KA 75 O likit limit deney sonuçları

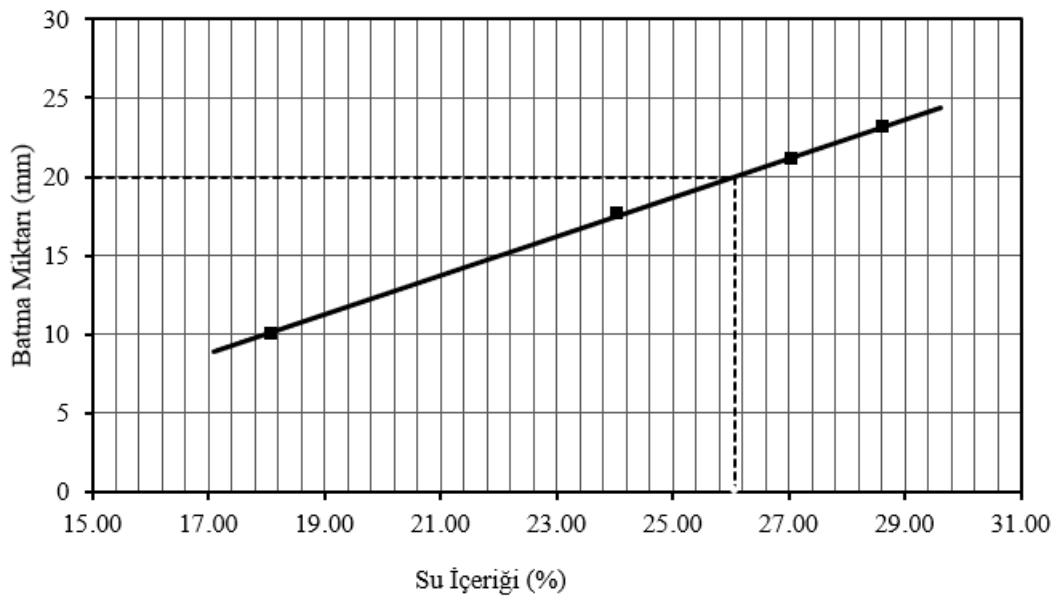
Numune Adı			25 KA 75 O		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	10.127	22.445	19.965	11.55	25.21
2	9.286	21.739	19.137	14.02	26.41
3	8.947	24.395	21.114	19.42	26.97
4	9.421	23.249	20.230	22.81	27.93
				Likit limit (%)	27.28



Şekil EK 1.19. 25 KA 75 O likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.20. 25 KA 75 Z likit limit deney sonuçları

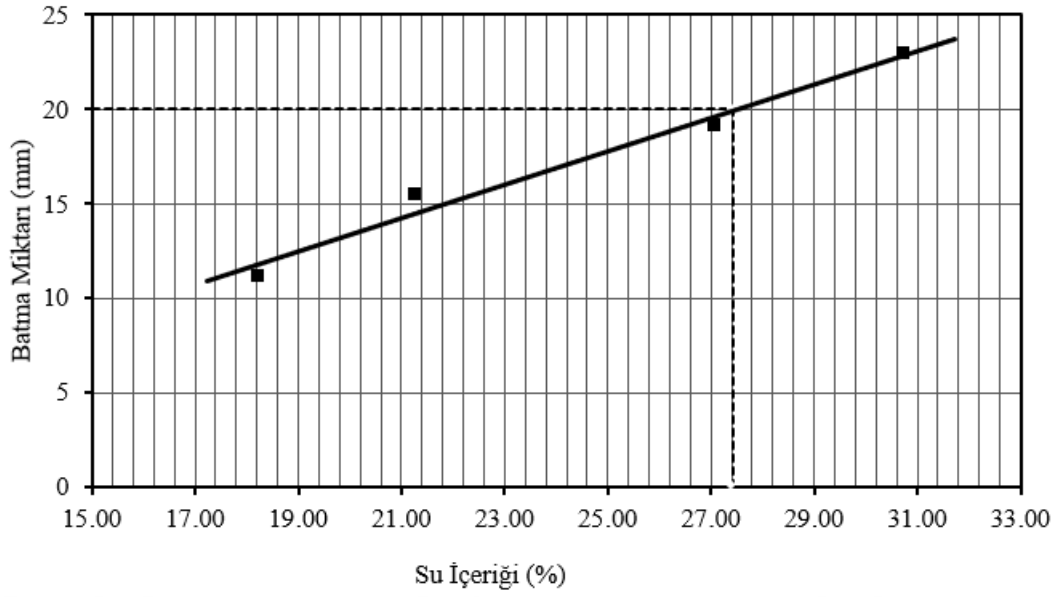
Numune Adı			25 KA 75 Z		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	12.359	25.087	23.137	10.07	18.09
2	11.654	27.242	24.219	17.65	24.06
3	6.987	18.593	16.122	21.12	27.05
4	7.364	22.176	18.880	23.14	28.62
				Likit limit (%)	26.08



Şekil EK 1.20. 25 KA 75 Z likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.21. 25 DA 75 G likit limit deney sonuçları

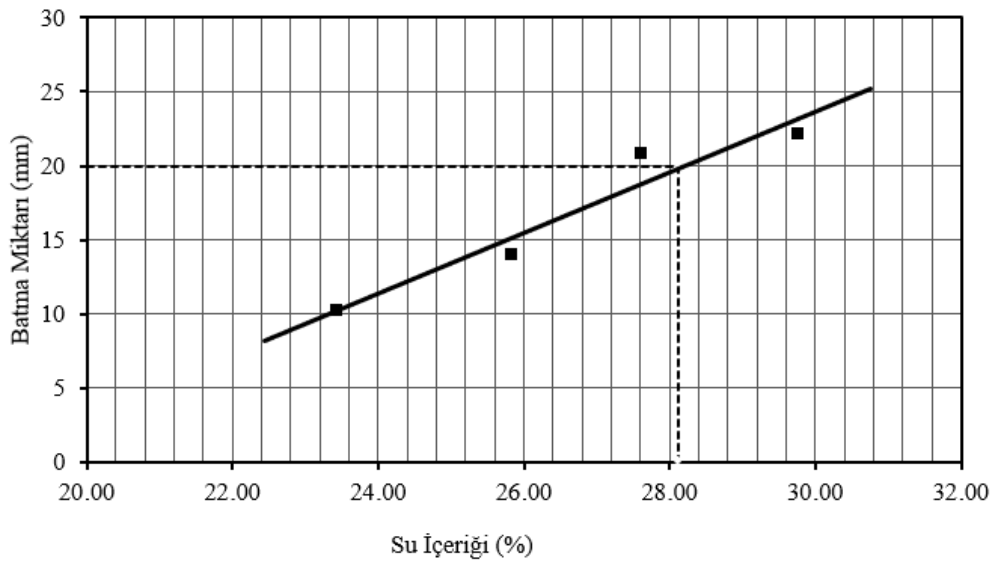
Numune Adı			25 DA 75 G		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	10.397	24.417	22.256	11.12	18.22
2	6.374	18.502	16.375	15.52	21.27
3	7.807	21.206	18.352	19.14	27.06
4	10.730	26.075	22.469	22.94	30.72
				Likit limit (%)	27.42



Şekil EK 1.21. 25 DA 75 G likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.22. 25 DA 75 O likit limit deney sonuçları

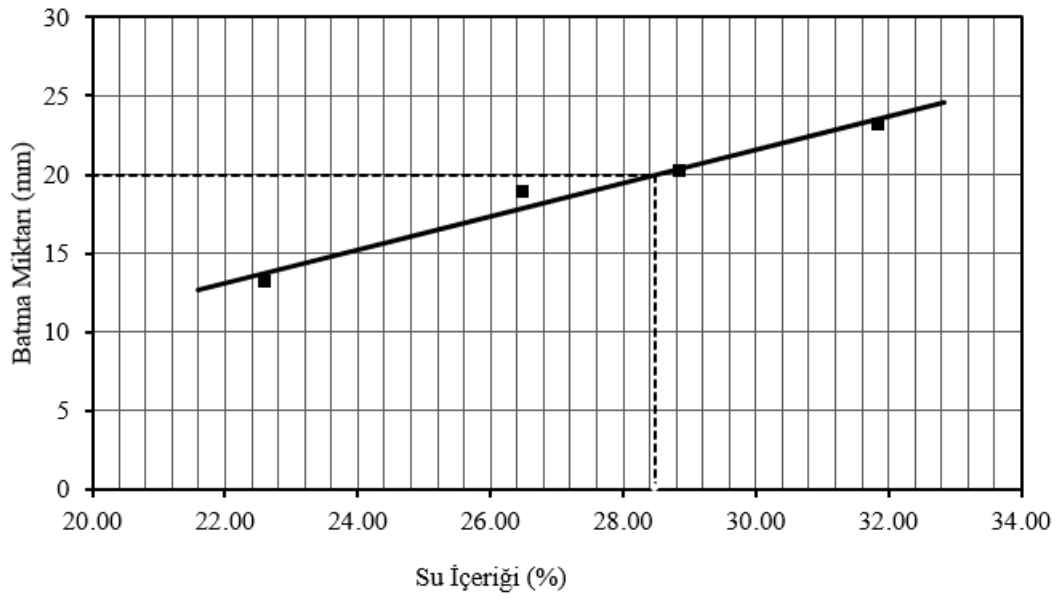
Numune Adı			25 DA 75 O		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	6.554	22.648	19.593	10.18	23.43
2	9.414	19.985	17.815	14.00	25.83
3	6.607	18.800	16.162	20.84	27.61
4	6.596	19.113	16.242	22.15	29.76
				Likit limit (%)	28.12



Şekil EK 1.22. 25 DA 75 O likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

Çizelge EK 1.23. 25 DA 75 Z likit limit deney sonuçları

Numune Adı			25 DA 75 Z		
Deney No	Kap (g)	Kap+Yaş (g)	Kap+Kuru (g)	Batma (mm)	Su İçeriği (%)
1	7.658	19.804	17.565	13.15	22.60
2	12.752	27.638	24.520	18.89	26.50
3	20.108	37.420	33.542	20.19	28.87
4	16.240	28.438	25.492	23.20	31.84
				Likit limit (%)	28.49

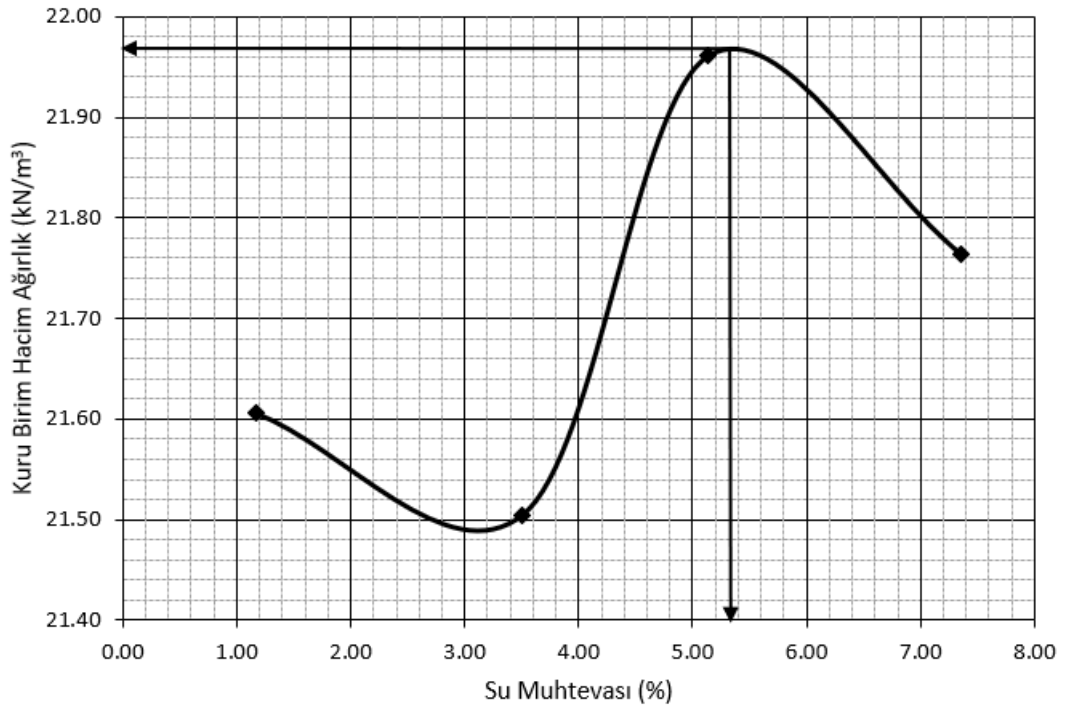


Şekil EK 1.23. 25 DA 75 Z likit limit deneyi su içeriği-batma miktarı grafiği

EK-2 Ayrıntılı Modifiye Proctor Deney Sonuçları

Çizelge EK 2.1. 100 KA modifiye Proctor deney sonuçları

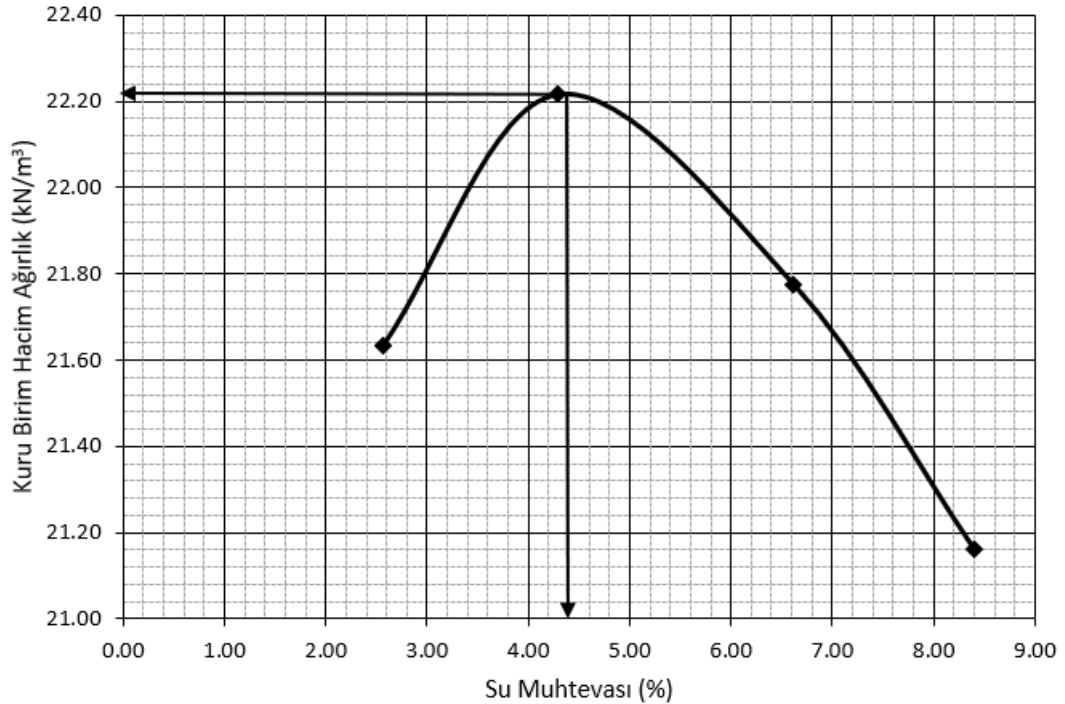
Numune Adı	100 KA			
	1	2	3	4
Deney Numarası	1	2	3	4
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	10660.00	10749.00	10934.00	10995.00
Kalıp Kütlesi (gr)	5800.00	5800.00	5800.00	5800.00
Kalıp Hacmi (cm ³)	2181.17	2181.17	2181.17	2181.17
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4860.00	4949.00	5134.00	5195.00
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	21.86	22.26	23.09	23.36
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	21.61	21.50	21.96	21.76
Deney Numarası	1	2	3	4
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	325.67	289.98	349.39	335.87
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	228.10	160.45	200.94	204.65
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	322.63	281.46	332.05	310.35
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	225.28	155.16	192.57	194.19
Kap (gr) - 1	27.07	28.18	27.97	28.23
Kap (gr) - 2	9.38	10.05	9.67	9.39
Su Muhtevası (%) - 1	1.03	3.36	5.70	9.05
Su Muhtevası (%) - 2	1.31	3.65	4.58	5.66
Ortalama Su Muhtevası (%)	1.17	3.50	5.14	7.35
Optimum Su Muhtevası (%)	5.35			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	21.97			



Şekil EK 2.1. 100 KA kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.2. 100 DA modifiye Proctor deney sonuçları

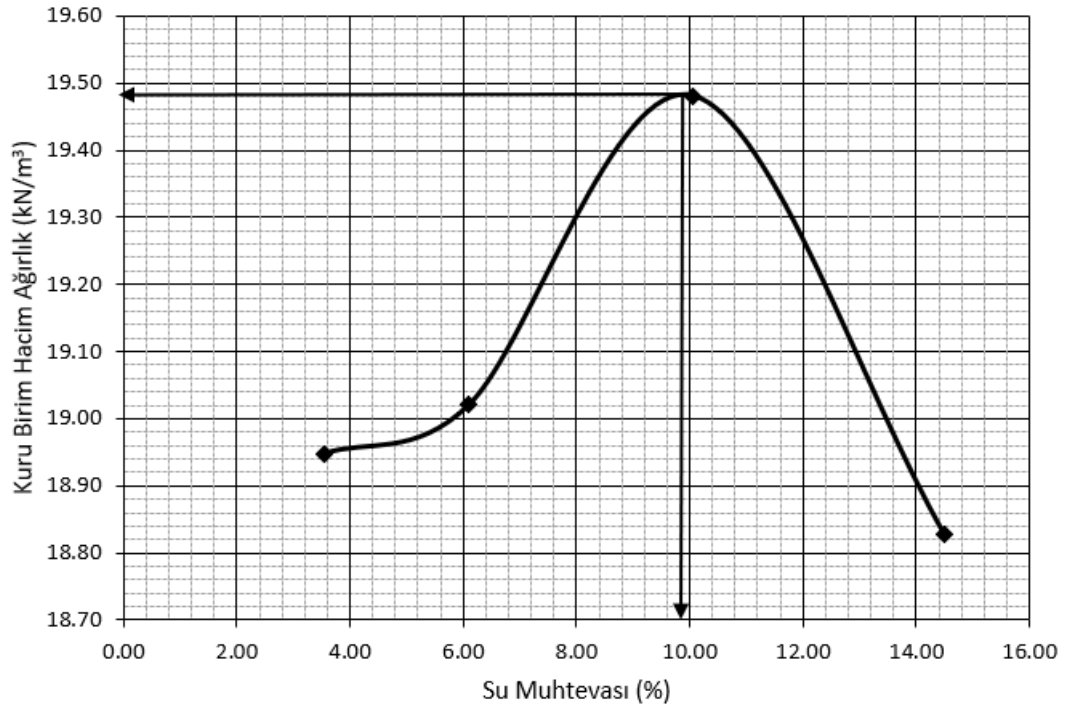
Numune Adı	100 DA			
	1	2	3	4
Deney Numarası	1	2	3	4
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	10550.00	10760.00	10770.00	10710.00
Kalıp Kütlesi (gr)	5800.00	5800.00	5800.00	5800.00
Kalıp Hacmi (cm ³)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4750.00	4960.00	4970.00	4910.00
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	22.19	23.17	23.22	22.94
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	21.63	22.22	21.78	21.16
Deney Numarası	146.00	182.62	225.02	201.27
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	154.00	151.84	153.09	200.25
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	142.64	175.03	210.89	186.28
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	150.31	146.38	144.55	185.38
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	9.69	9.72	6.40	9.29
Kap (gr) - 1	9.29	9.42	9.49	6.60
Su Muhtevası (%) - 1	2.52	4.59	6.91	8.47
Su Muhtevası (%) - 2	2.61	3.99	6.32	8.32
Ortalama Su Muhtevası (%)	2.57	4.29	6.62	8.40
Optimum Su Muhtevası (%)	4.40			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	22.22			



Şekil EK 2.2. 100 DA kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.3. 100 G modifiye Proctor deney sonuçları

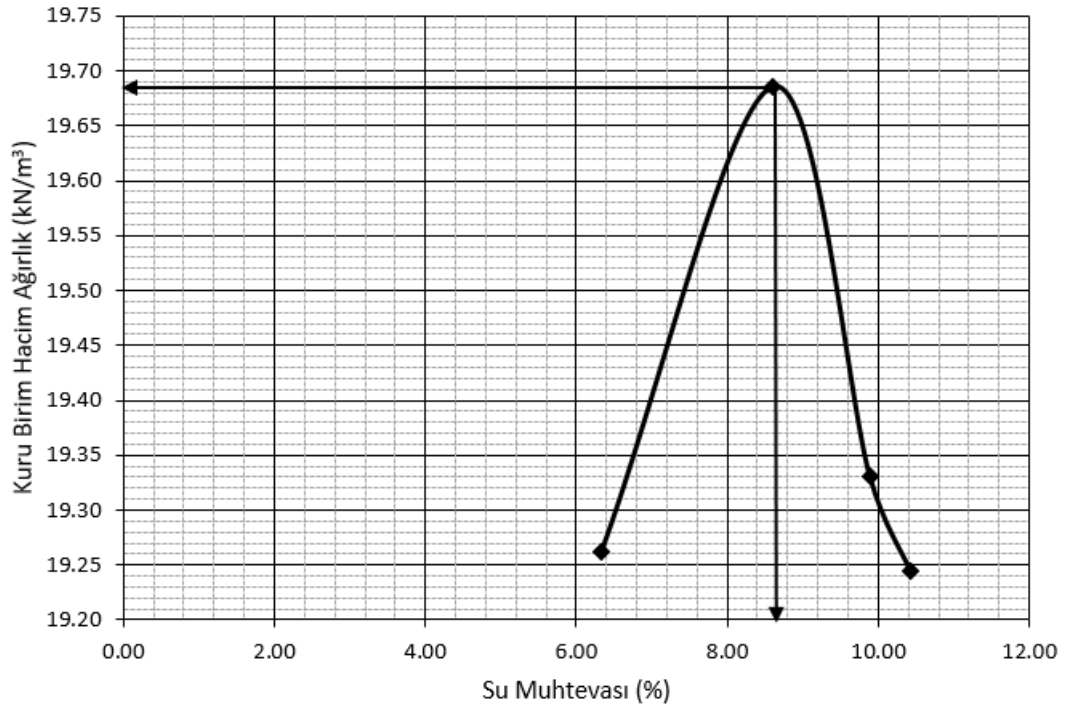
Numune Adı	100 G			
	1	2	3	4
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)				
Kalıp Kütlesi (gr)	10040	10160.00	10430.00	10455.00
Kalıp Hacmi (cm ³)	5840	5840.00	5840.00	5840.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	2100	2100.00	2100.00	2100.00
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	4200.00	4320.00	4590.00	4615.00
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	19.62	20.18	21.44	21.56
Deney Numarası	18.95	19.02	19.48	18.83
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	202.85	193.43	81.19	176.90
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	250.62	112.14	62.92	124.05
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	198	183.65	74.54	153.97
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	241.55	106.40	57.63	112.49
Kap (gr) - 1	30.2	28.01	6.61	27.20
Kap (gr) - 2	25.71	9.38	6.50	6.64
Su Muhtevası (%) - 1	2.89	6.28	9.79	18.09
Su Muhtevası (%) - 2	4.20	5.92	10.35	10.92
Ortalama Su Muhtevası (%)	3.55	6.10	10.07	14.50
Optimum Su Muhtevası (%)	9.75			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	19.48			



Şekil EK 2.3. 100 G kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.4. 100 O modifiye Proctor deney sonuçları

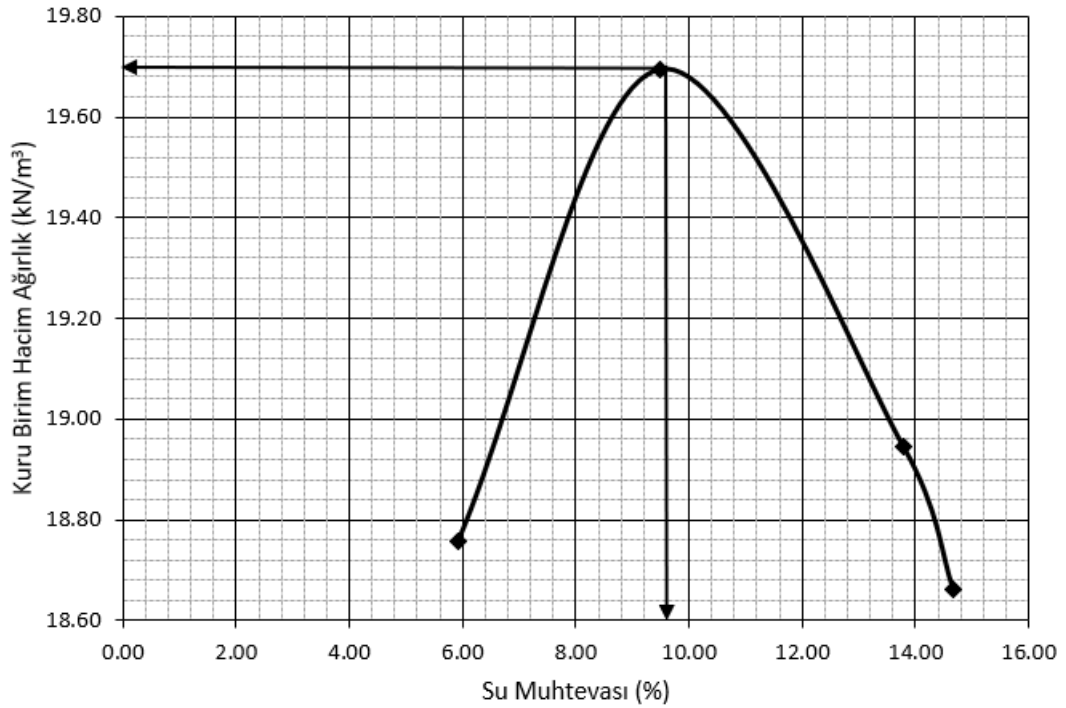
Numune Adı	100 O			
	1	2	3	4
Deney Numarası	10227.00	10419.50	10390.00	10392.00
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	10227.00	10419.50	10390.00	10392.00
Kalıp Kütlesi (gr)	5842.50	5842.50	5842.50	5842.50
Kalıp Hacmi (cm ³)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4384.50	4577.00	4547.50	4549.50
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	20.48	21.38	21.24	21.25
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	19.26	19.69	19.33	19.25
Deney Numarası	133.69	134.74	129.48	132.45
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	136.59	126.68	165.49	172.98
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	127.28	126.36	121.08	122.15
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	130.33	118.44	152.21	160.12
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	22.41	26.39	24.34	32.55
Kap (gr) - 1	34.71	25.21	32.56	22.83
Kap (gr) - 2	6.11	8.38	8.68	11.50
Su Muhtevası (%) - 2	6.55	8.84	11.10	9.37
Ortalama Su Muhtevası (%)	6.33	8.61	9.89	10.43
Optimum Su Muhtevası (%)	8.60			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	19.69			



Şekil EK 2.4. 100 O kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.5. 100 Z modifiye Proctor deney sonuçları

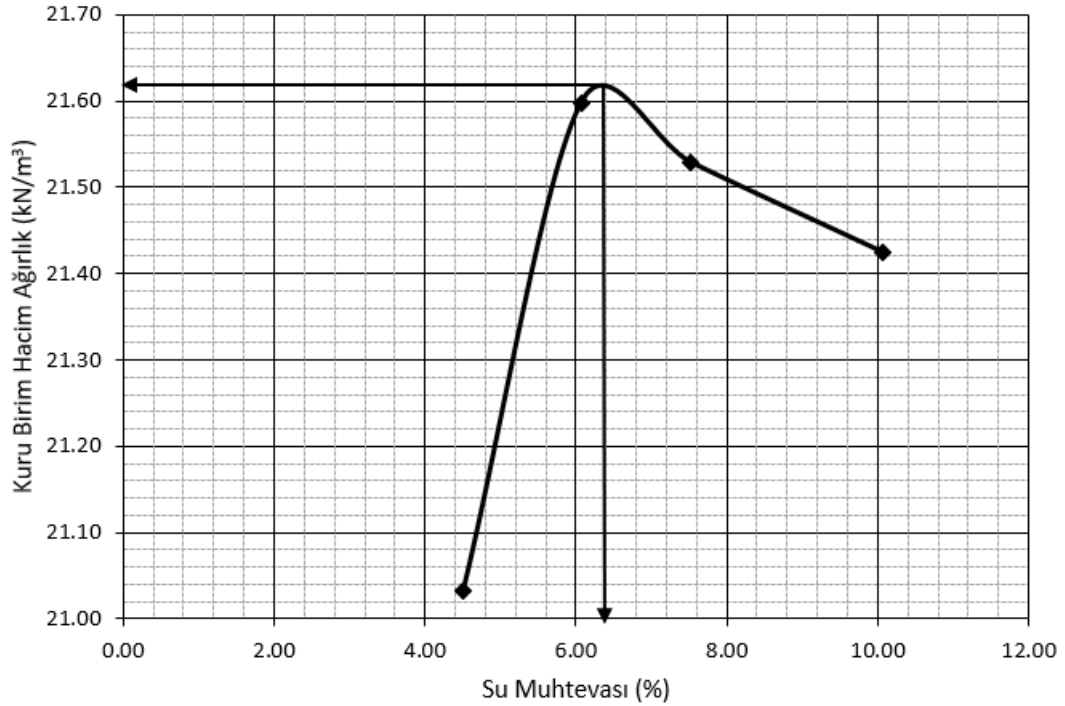
Numune Adı	100 Z			
	1	2	3	4
Deney Numarası				
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	10096.50	10459.00	10458.00	10424.00
Kalıp Kütlesi (gr)	5842.50	5842.50	5842.50	5842.50
Kalıp Hacmi (cm ³)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4254.00	4616.50	4615.50	4581.50
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	19.87	21.57	21.56	21.40
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	18.76	19.70	18.95	18.66
Deney Numarası	101.65	134.62	142.35	155.32
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	105.49	110.84	136.69	162.67
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	96.31	123.97	127.49	138.55
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	99.97	101.65	119.42	142.35
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	6.56	9.65	6.57	15.42
Kap (gr) - 1	6.73	6.63	6.60	13.28
Kap (gr) - 2	5.95	9.32	12.29	13.62
Su Muhtevası (%) - 2	5.92	9.67	15.31	15.74
Ortalama Su Muhtevası (%)	5.94	9.49	13.80	14.68
Optimum Su Muhtevası (%)	9.60			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	19.70			



Şekil EK 2.5. 100 Z kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.6. 75 KA 25 G modifiye Proctor deney sonuçları

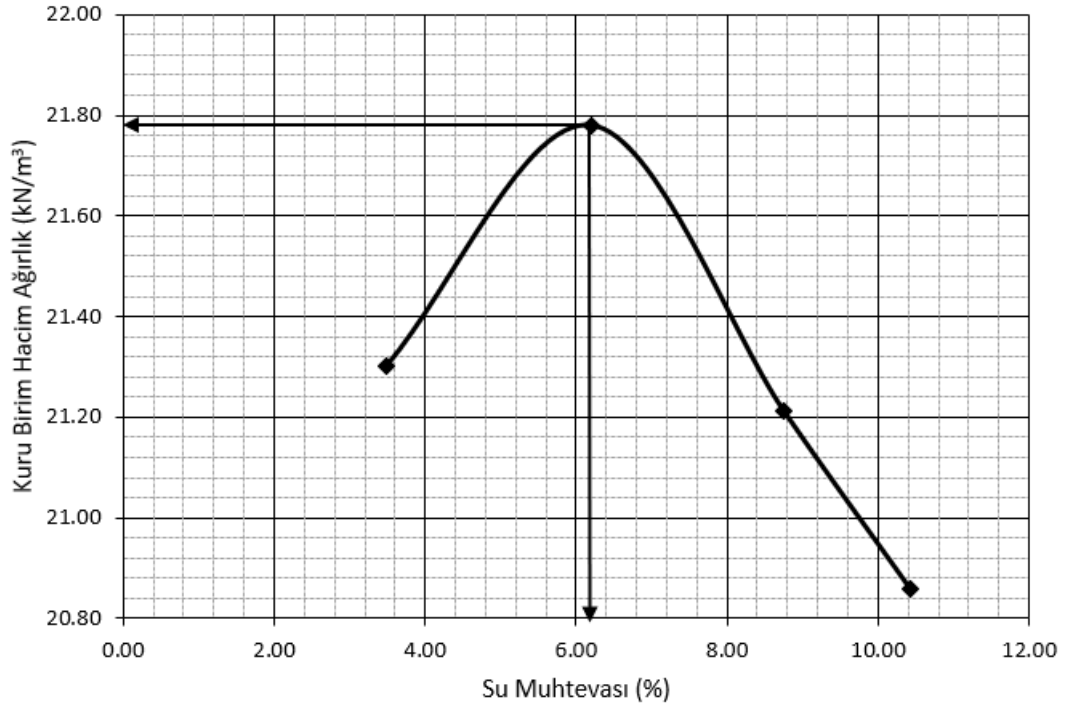
Numune Adı	75 KA 25 G			
	1	2	3	4
Deneysel Numarası	10547.50	10746.50	10797.50	10890.00
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	5842.50	5842.50	5842.50	5842.50
Kalıp Kütle (gr)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4705.00	4904.00	4955.00	5047.50
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	21.98	22.91	23.15	23.58
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	21.03	21.60	21.53	21.42
Deneysel Numarası	136.97	137.32	161.59	158.42
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	136.68	128.36	158.51	169.66
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	132.68	130.59	151.71	144.38
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	131.61	122.60	150.58	155.20
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	32.51	25.21	32.44	9.87
Kap (gr) - 1	24.34	22.41	33.06	5.74
Kap (gr) - 2	4.28	6.39	8.28	10.44
Su Muhtevası (%) - 2	4.73	5.75	6.75	9.67
Ortalama Su Muhtevası (%)	4.50	6.07	7.52	10.06
Optimum Su Muhtevası (%)	6.40			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	21.62			



Şekil EK 2.6. 75 KA 25 G kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.7. 75 KA 25 O modifiye Proctor deney sonuçları

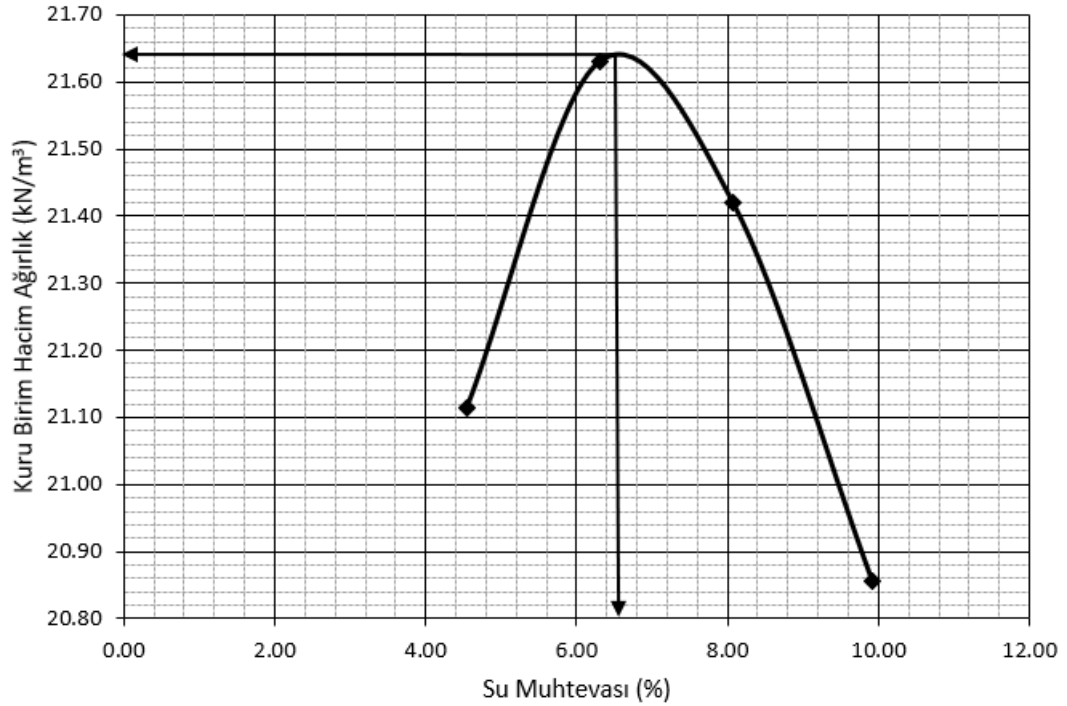
Numune Adı	75 KA 25 O			
	1	2	3	4
Deney Numarası	1	2	3	4
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	10518.00	10750.00	10737.00	10729.50
Kalıp Kütlesi (gr)	5798.50	5798.50	5798.50	5798.50
Kalıp Hacmi (cm ³)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4719.50	4951.50	4938.50	4931.00
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	22.05	23.13	23.07	23.03
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	21.30	21.78	21.21	20.86
Deney Numarası	111.60	118.21	240.23	201.98
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	109.24	116.06	266.71	194.63
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	108.35	111.28	222.63	183.45
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	105.49	110.08	246.67	177.30
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	6.47	6.62	9.97	7.75
Kap (gr) - 1	6.85	6.65	29.60	9.18
Kap (gr) - 2	3.19	6.62	8.28	10.55
Su Muhtevası (%) - 2	3.80	5.78	9.23	10.31
Ortalama Su Muhtevası (%)	3.50	6.20	8.75	10.43
Optimum Su Muhtevası (%)	6.20			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	21.78			



Şekil EK 2.7. 75 KA 25 O kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.8. 75 KA 25 Z modifiye Proctor deney sonuçları

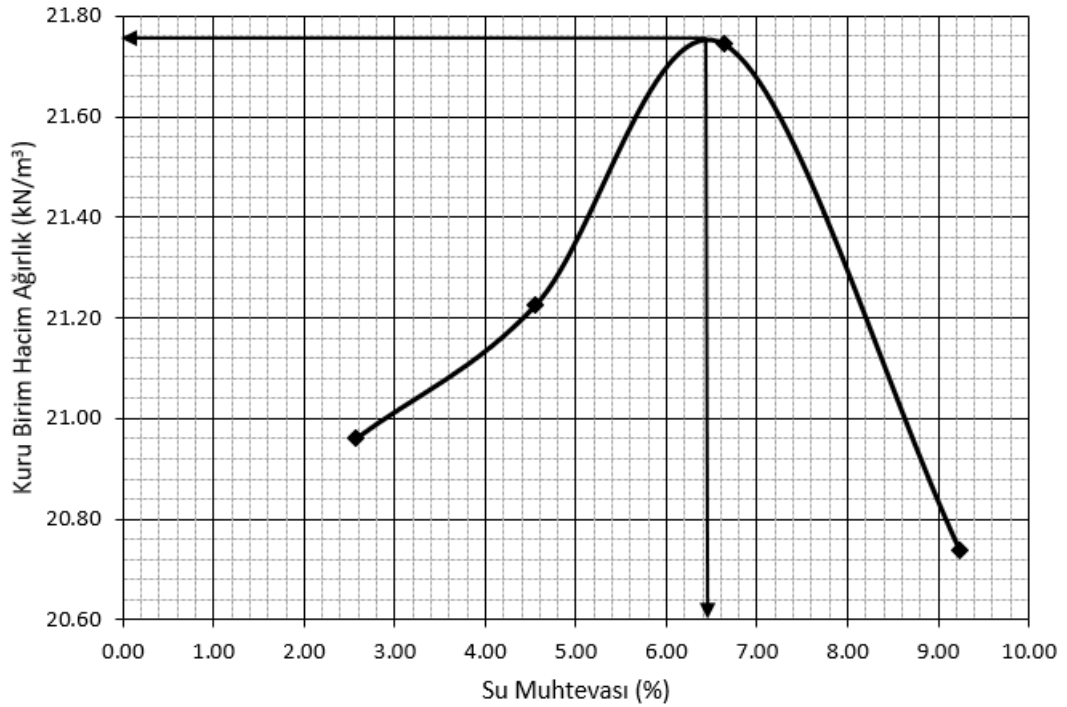
Numune Adı	75 KA 25 Z			
	1	2	3	4
Deneysel Numarası	10568.00	10764.50	10798.00	10750.00
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	5842.50	5842.50	5842.50	5842.50
Kalıp Kütle (gr)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4725.50	4922.00	4955.50	4907.50
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	22.07	22.99	23.15	22.93
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	21.11	21.63	21.42	20.86
Deneysel Numarası	162.18	152.40	159.88	161.32
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	83.95	139.27	140.57	184.23
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	156.34	143.15	146.88	148.00
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	80.19	132.28	131.93	169.35
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	9.94	9.38	6.46	12.38
Kap (gr) - 1	6.58	9.46	6.60	20.93
Kap (gr) - 2	3.99	6.91	9.26	9.82
Su Muhtevası (%) - 2	5.11	5.69	6.89	10.03
Ortalama Su Muhtevası (%)	4.55	6.30	8.08	9.92
Optimum Su Muhtevası (%)	6.47			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	21.64			



Şekil EK 2.8. 75 KA 25 Z kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.9. 75 DA 25 G modifiye Proctor deney sonuçları

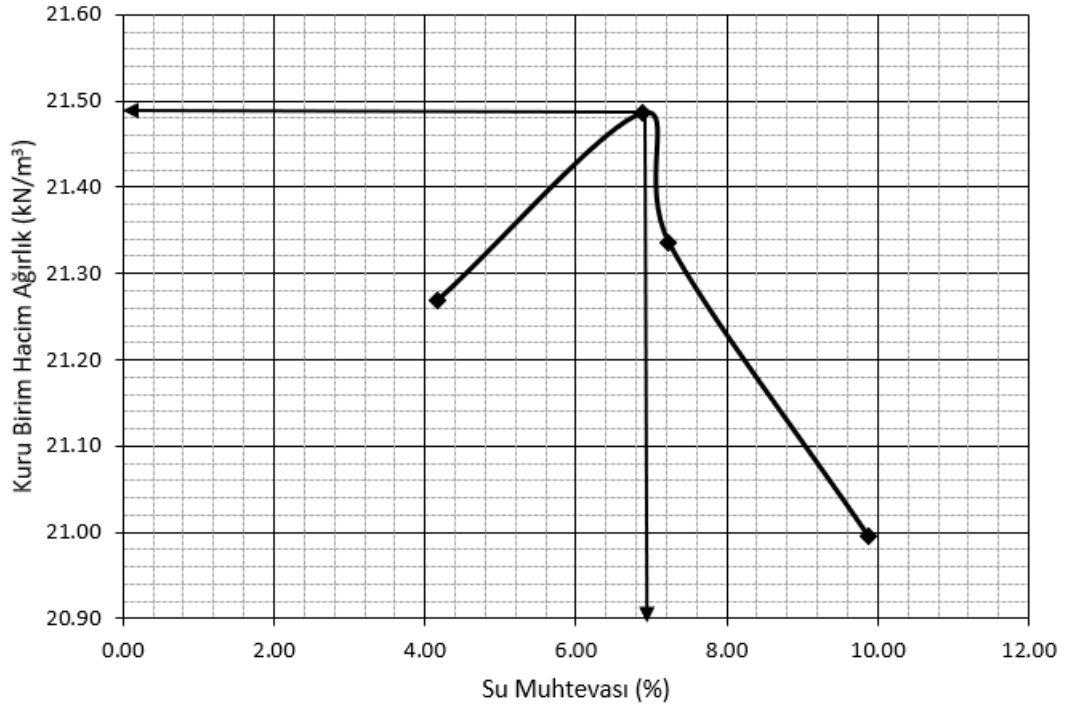
Numune Adı	75 DA 25 G			
	1	2	3	4
Deney Numarası				
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	10400.5	10549.50	10762.50	10648.50
Kalıp Kütlesi (gr)	5798.5	5798.50	5798.50	5798.50
Kalıp Hacmi (cm ³)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4602.00	4751.00	4964.00	4850.00
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	21.50	22.19	23.19	22.66
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.96	21.23	21.74	20.74
Deney Numarası	260.02	285.24	153.51	159.02
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	210.45	302.20	116.60	227.89
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	255.25	274.13	144.41	146.85
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	204.33	290.09	109.86	210.00
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	10.87	27.64	9.64	9.47
Kap (gr) - 1	11.62	27.08	6.63	24.19
Kap (gr) - 2	1.95	4.51	6.75	8.86
Su Muhtevası (%) - 2	3.18	4.60	6.53	9.63
Ortalama Su Muhtevası (%)	2.56	4.56	6.64	9.24
Optimum Su Muhtevası (%)	6.42			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	21.76			



Şekil EK 2.9. 75 DA 25 G kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.10. 75 DA 25 O modifiye Proctor deney sonuçları

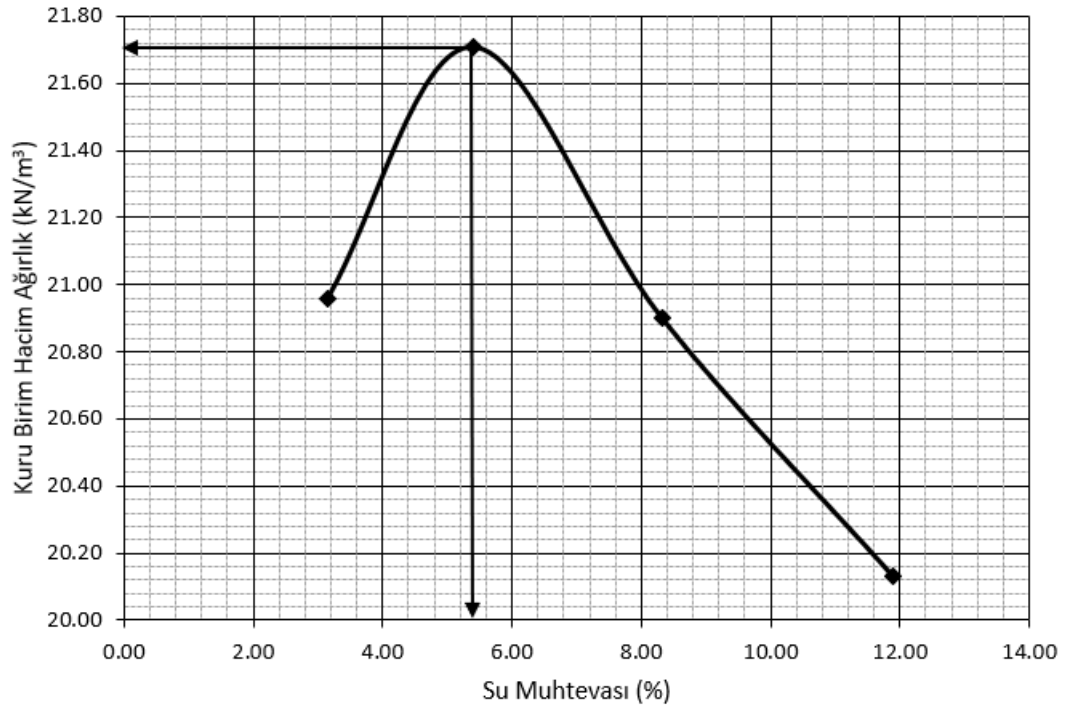
Numune Adı	75 DA 25 O			
	1	2	3	4
Deney Numarası	10585.00	10759.00	10740.00	10780.50
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	5842.50	5842.50	5842.50	5842.50
Kalıp Kütle (gr)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4742.50	4916.50	4897.50	4938.00
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	22.15	22.97	22.88	23.07
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	21.27	21.49	21.34	21.00
Deney Numarası	86.37	113.12	149.94	147.94
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	117.65	133.05	181.01	131.45
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	83.18	106.27	139.95	134.22
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	114.03	126.88	170.07	121.11
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	6.64	16.55	9.45	5.85
Kap (gr) - 1	26.87	26.38	9.35	6.79
Kap (gr) - 2	4.17	7.63	7.66	10.69
Su Muhtevası (%) - 2	4.15	6.14	6.81	9.04
Ortalama Su Muhtevası (%)	4.16	6.89	7.23	9.87
Optimum Su Muhtevası (%)	6.95			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	21.49			



Şekil EK 2.10. 75 DA 25 O kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.11. 75 DA 25 Z modifiye Proctor deney sonuçları

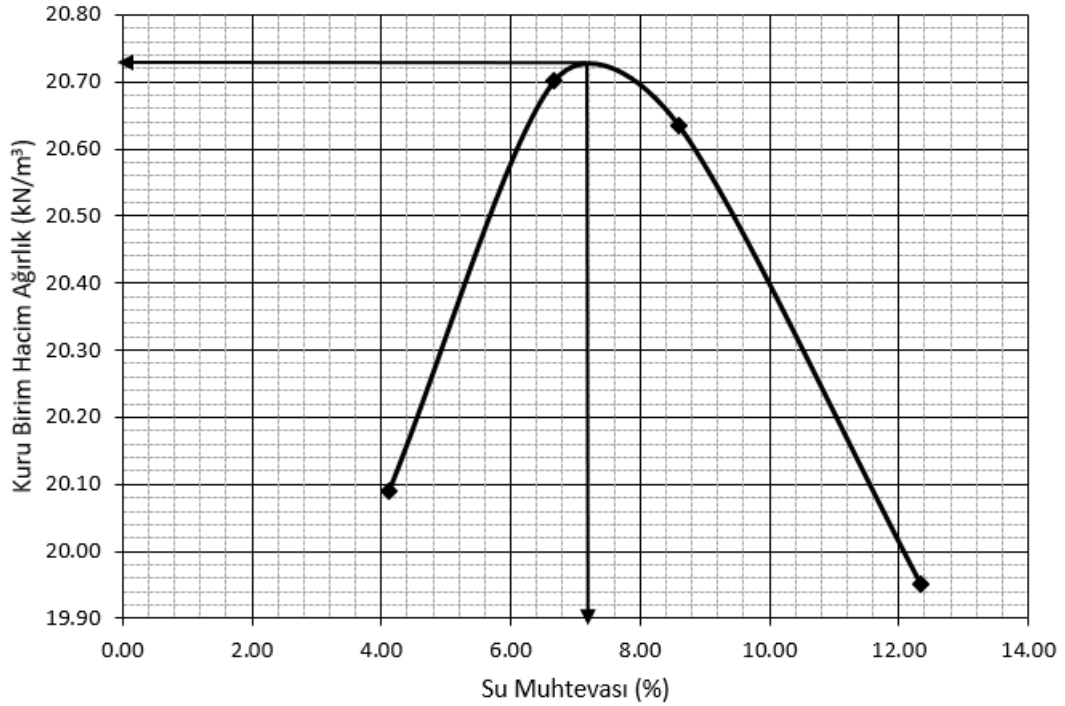
Numune Adı	75 DA 25 Z			
	1	2	3	4
Deneysel Numarası	10427.00	10697.00	10645.00	10620.50
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	5798.50	5798.50	5798.50	5798.50
Kalıp Kütle (gr)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4628.50	4898.50	4846.50	4822.00
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	21.62	22.88	22.64	22.53
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.96	21.71	20.90	20.13
Deneysel Numarası	175.83	168.51	170.91	148.21
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	171.02	246.31	176.95	168.19
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	171.08	160.25	158.25	134.85
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	165.76	235.24	164.35	149.52
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	9.43	9.97	9.64	9.32
Kap (gr) - 1	9.87	27.06	9.30	7.47
Kap (gr) - 2	2.94	5.50	8.52	10.64
Su Muhtevası (%) - 2	3.37	5.32	8.13	13.14
Ortalama Su Muhtevası (%)	3.16	5.41	8.32	11.89
Optimum Su Muhtevası (%)	5.40			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	21.71			



Şekil EK 2.11. 75 DA 25 Z kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.12. 50 KA 50 G modifiye Proctor deney sonuçları

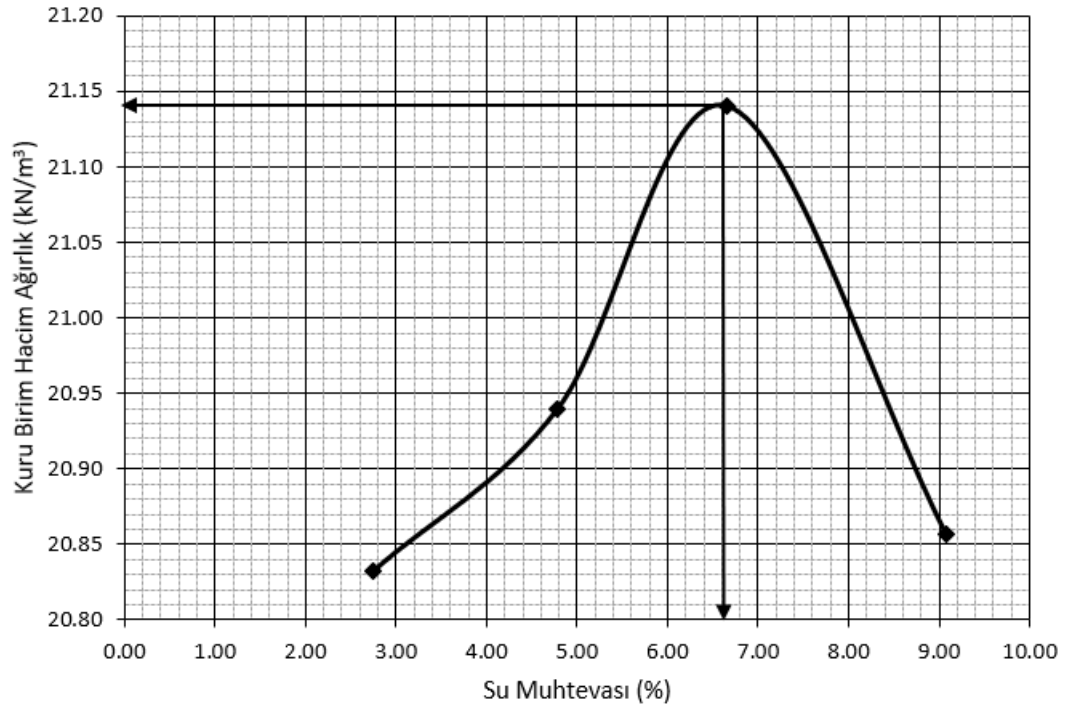
Numune Adı	50 KA 50 G			
	1	2	3	4
Deney Numarası	1	2	3	4
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	10319.5	10525.5	10639.5	10640.50
Kalıp Kütlesi (gr)	5842.5	5798.5	5842.5	5842.50
Kalıp Hacmi (cm ³)	2100	2100	2100	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4477.00	4727.00	4797.00	4798.00
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	20.91	22.08	22.41	22.41
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.09	20.70	20.64	19.95
Deney Numarası	145.45	130.18	141.93	190.21
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	133.75	142.35	135.15	174.87
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	140.90	123.79	131.94	172.05
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	129.45	135.83	127.10	154.85
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	32.52	32.45	25.19	9.48
Kap (gr) - 1	22.42	33.04	24.33	6.75
Kap (gr) - 2	4.20	7.00	9.36	11.17
Su Muhtevası (%) - 2	4.02	6.34	7.83	13.52
Ortalama Su Muhtevası (%)	4.11	6.67	8.60	12.34
Optimum Su Muhtevası (%)	7.20			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.73			



Şekil EK 2.12. 50 KA 50 G kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.13. 50 KA 50 O modifiye Proctor deney sonuçları

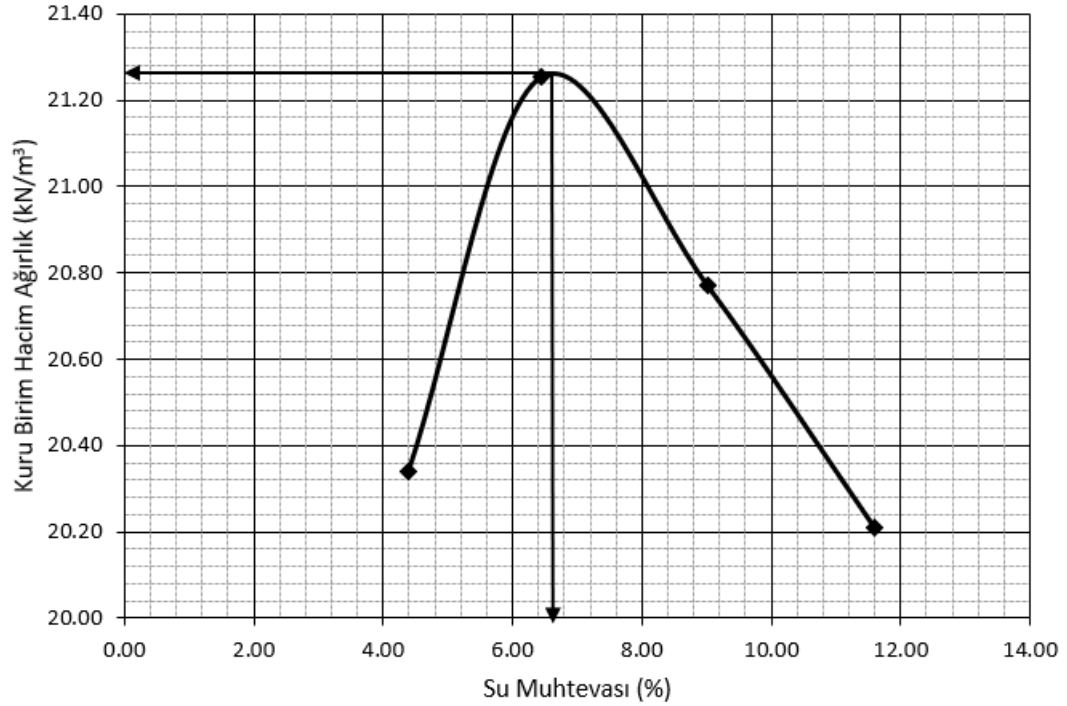
Numune Adı	50 KA 50 O			
	1	2	3	4
Deneş Numarası	10380.5	10495.50	10669.50	10712.50
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	5798.5	5798.50	5842.50	5842.50
Kalıp Kütlesi (gr)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4582.00	4697.00	4827.00	4870.00
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	21.40	21.94	22.55	22.75
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.83	20.94	21.14	20.86
Deneş Numarası	158.38	166.81	179.70	342.37
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	143.29	187.30	202.60	246.10
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	154.62	159.40	168.38	312.87
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	139.48	179.43	191.36	230.37
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	9.18	9.41	9.61	27.07
Kap (gr) - 1	8.25	9.29	9.88	29.45
Kap (gr) - 2	2.59	4.94	7.13	10.32
Su Muhtevası (%) - 2	2.90	4.63	6.19	7.83
Ortalama Su Muhtevası (%)	2.74	4.78	6.66	9.08
Optimum Su Muhtevası (%)	6.60			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	21.14			



Şekil EK 2.13. 50 KA 50 O kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.14. 50 KA 50 Z modifiye Proctor deney sonuçları

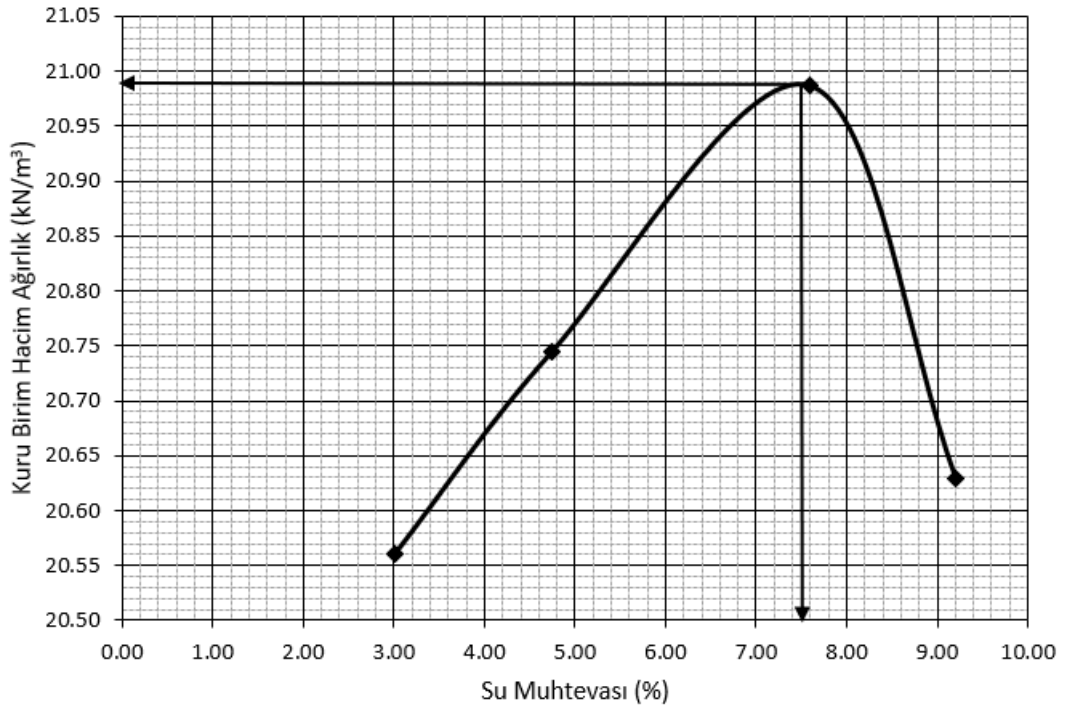
Numune Adı	50 KA 50 Z			
	1	2	3	4
Deney Numarası	1	2	3	4
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	10344.00	10685.50	10690.00	10670.50
Kalıp Kütlesi (gr)	5798.50	5842.50	5842.50	5842.50
Kalıp Hacmi (cm ³)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4545.50	4843.00	4847.50	4828.00
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	21.23	22.62	22.64	22.55
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.34	21.25	20.77	20.21
Deney Numarası	133.19	234.19	162.22	197.12
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	148.67	258.66	146.75	230.85
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	128.49	220.40	151.30	177.45
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	144.00	245.86	136.29	207.63
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	26.36	24.16	9.97	9.56
Kap (gr) - 1	32.76	27.62	34.69	5.48
Kap (gr) - 2	4.60	7.03	7.73	11.72
Su Muhtevası (%) - 2	4.20	5.87	10.30	11.49
Ortalama Su Muhtevası (%)	4.40	6.45	9.01	11.60
Optimum Su Muhtevası (%)	6.60			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	21.26			



Şekil EK 2.14. 50 KA 50 Z kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.15. 50 DA 50 G modifiye Proctor deney sonuçları

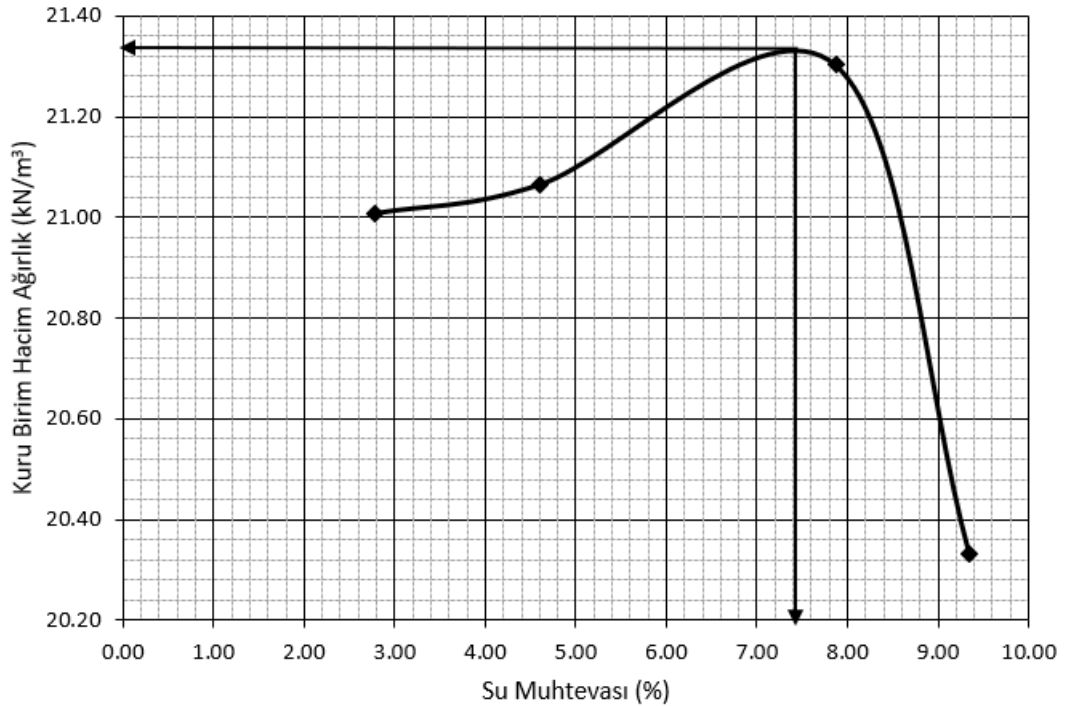
Numune Adı	50 DA 50 G			
	1	2	3	4
Deney Numarası	10332	10450.00	10632.00	10621.00
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	10332	10450.00	10632.00	10621.00
Kalıp Kütlesi (gr)	5798.5	5798.50	5798.50	5798.50
Kalıp Hacmi (cm ³)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4533.50	4651.50	4833.50	4822.50
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	21.18	21.73	22.58	22.53
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.56	20.74	20.99	20.63
Deney Numarası	175.64	149.47	120.98	124.73
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	193.42	140.45	124.25	120.02
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	170.83	144.39	114.55	116.55
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	188.19	134.98	116.95	112.47
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	9.59	34.71	26.38	25.23
Kap (gr) - 1	15.46	22.41	24.35	32.53
Kap (gr) - 2	2.98	4.63	7.29	8.96
Su Muhtevası (%) - 2	3.03	4.86	7.88	9.44
Ortalama Su Muhtevası (%)	3.01	4.75	7.59	9.20
Optimum Su Muhtevası (%)	7.50			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.99			



Şekil EK 2.15. 50 DA 50 G kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.16. 50 DA 50 O modifiye Proctor deney sonuçları

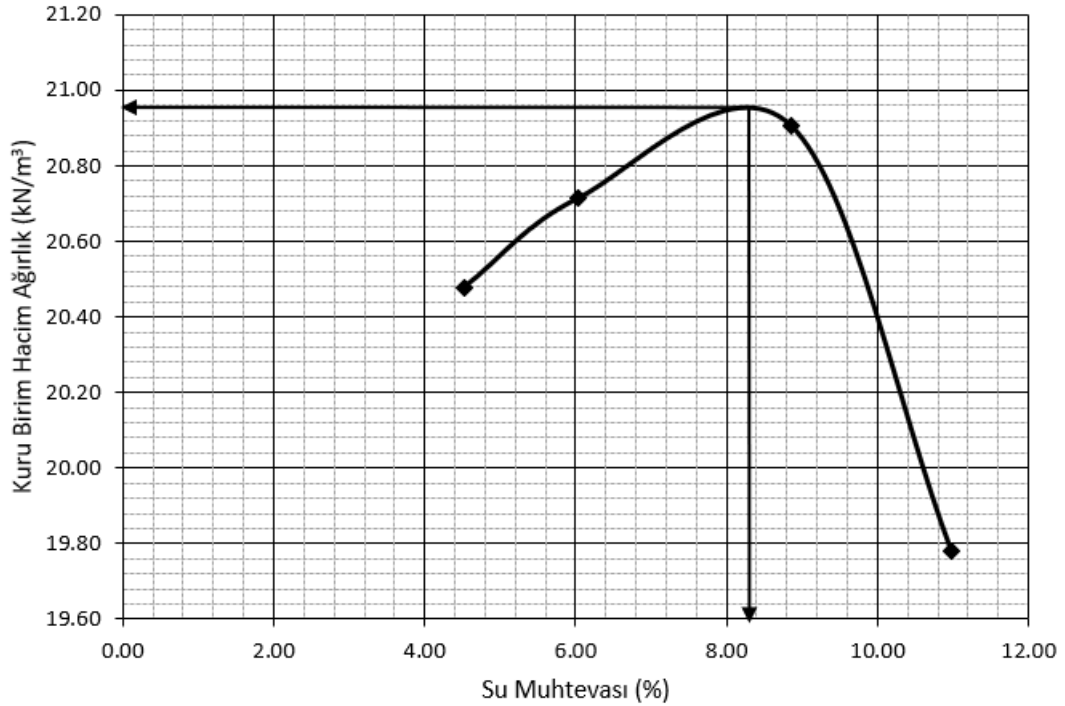
Numune Adı	50 DA 50 O			
	1	2	3	4
Deney Numarası	10420.5	10515.00	10717.50	10558.00
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	5798.5	5798.50	5798.50	5798.50
Kalıp Kütle (gr)	2100	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4622.00	4716.50	4919.00	4759.50
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	21.59	22.03	22.98	22.23
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	21.01	21.06	21.30	20.33
Deney Numarası	189.32	186.57	114.36	126.84
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	146.49	182.97	99.60	173.25
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	184.65	178.95	106.51	116.36
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	142.54	175.20	92.81	159.56
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	6.98	9.90	6.63	6.60
Kap (gr) - 1	7.51	9.31	6.59	9.98
Kap (gr) - 2	2.63	4.51	7.86	9.55
Su Muhtevası (%) - 2	2.93	4.68	7.88	9.15
Ortalama Su Muhtevası (%)	2.78	4.60	7.87	9.35
Optimum Su Muhtevası (%)	7.40			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	21.33			



Şekil EK 2.16. 50 DA 50 O kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.17. 50 DA 50 Z modifiye Proctor deney sonuçları

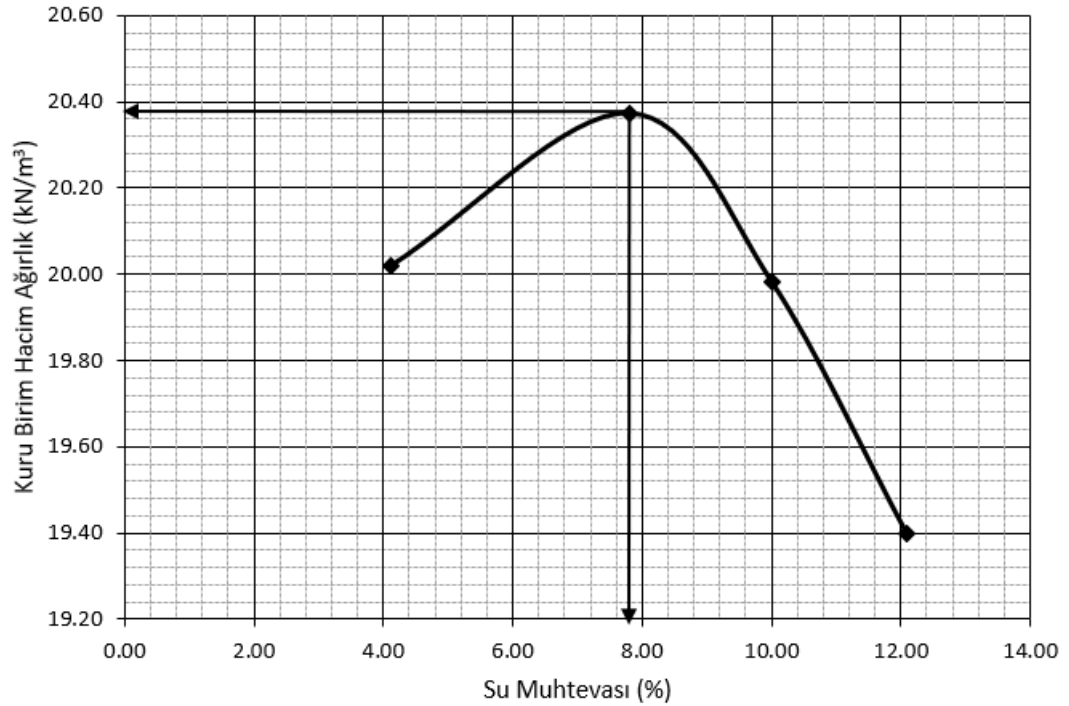
Numune Adı	50 DA 50 Z			
	1	2	3	4
Deney Numarası	1	2	3	4
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	10380.5	10500.00	10670.00	10497.50
Kalıp Kütlesi (gr)	5798.5	5798.50	5798.50	5798.50
Kalıp Hacmi (cm ³)	2100	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4582.00	4701.50	4871.50	4699.00
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	21.40	21.96	22.76	21.95
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.48	20.71	20.91	19.78
Deney Numarası	242.36	105.69	100.90	255.46
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	178.46	119.10	98.12	139.96
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	232.25	100.09	93.23	232.59
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	171.92	112.67	90.68	127.07
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	9.49	6.62	6.46	29.64
Kap (gr) - 1	26.54	6.63	6.64	6.48
Kap (gr) - 2	4.54	5.99	8.84	11.27
Su Muhtevası (%) - 2	4.50	6.06	8.85	10.69
Ortalama Su Muhtevası (%)	4.52	6.03	8.85	10.98
Optimum Su Muhtevası (%)	8.35			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.96			



Şekil EK 2.17. 50 DA 50 Z kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.18. 25 KA 75 G modifiye Proctor deney sonuçları

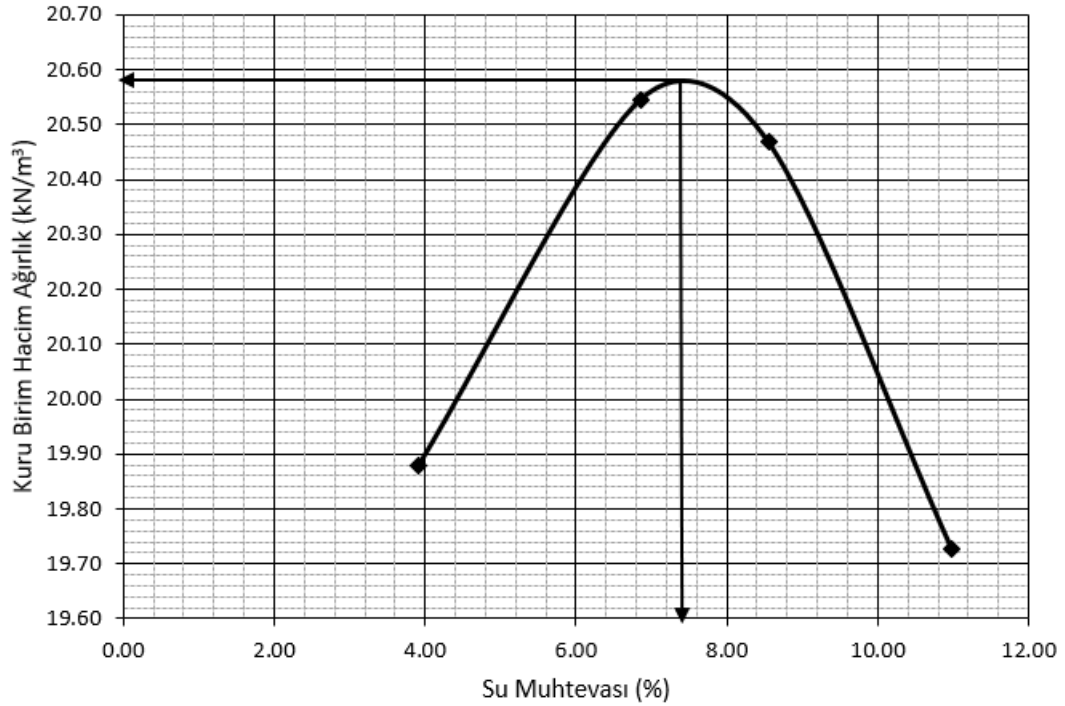
Numune Adı	25 KA 75 G			
	1	2	3	4
Deney Numarası	10260.00	10500.00	10504.00	10453.00
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	5798.50	5798.50	5798.50	5798.50
Kalıp Kütle (gr)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4461.50	4701.50	4705.50	4654.50
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	20.84	21.96	21.98	21.74
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.02	20.37	19.98	19.40
Deney Numarası	115.78	106.45	125.29	185.73
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	124.90	101.43	115.04	169.42
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	111.72	98.83	112.89	164.98
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	119.96	94.94	106.68	155.34
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	6.57	6.63	6.47	9.52
Kap (gr) - 1	6.46	6.40	6.59	25.47
Kap (gr) - 2	3.86	8.26	11.65	13.35
Su Muhtevası (%) - 2	4.35	7.33	8.35	10.84
Ortalama Su Muhtevası (%)	4.11	7.80	10.00	12.09
Optimum Su Muhtevası (%)	7.75			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.38			



Şekil EK 2.18. 25 KA 75 G kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.19. 25 KA 75 O modifiye Proctor deney sonuçları

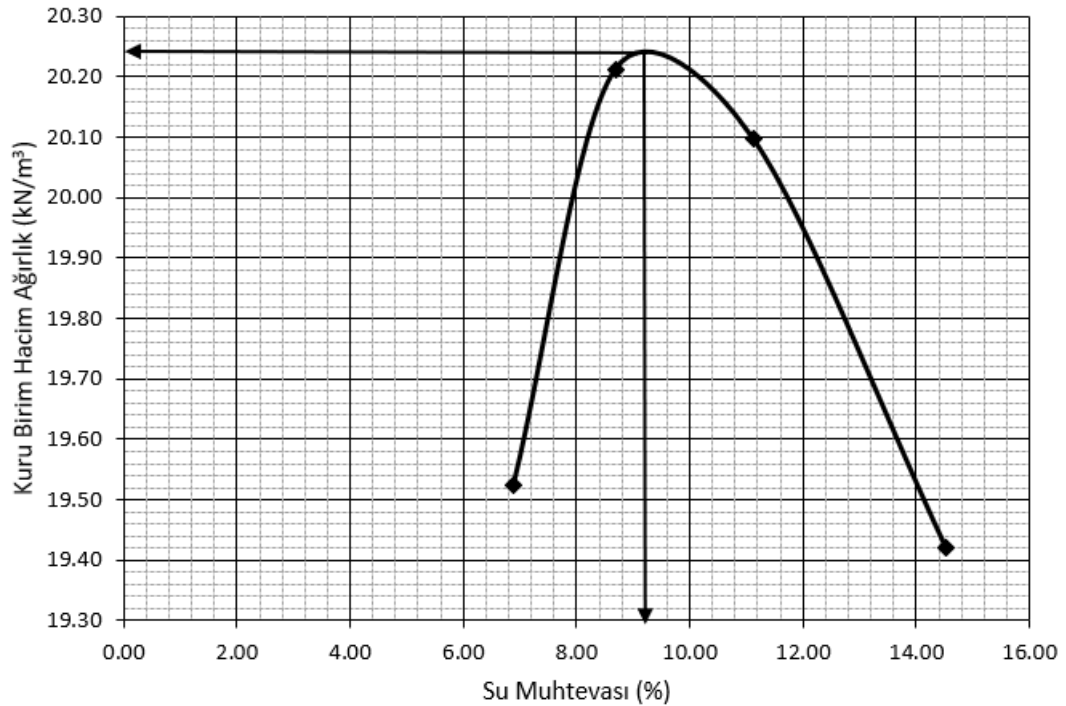
Numune Adı	25 KA 75 O			
	1	2	3	4
Deney Numarası	10220.00	10498.00	10555.00	10485.50
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	5798.50	5798.50	5798.50	5798.50
Kalıp Kütle (gr)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Kalıp Hacmi (cm ³)	4421.50	4699.50	4756.50	4687.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	20.65	21.95	22.22	21.89
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	19.88	20.55	20.47	19.73
Deney Numarası	152.42	126.93	137.29	145.98
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	144.15	143.88	136.21	198.21
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	147.92	121.05	129.63	133.04
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	139.75	135.04	126.88	182.01
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	33.26	26.87	32.76	26.89
Kap (gr) - 1	26.38	16.53	25.44	16.52
Kap (gr) - 2	3.92	6.24	7.91	12.19
Su Muhtevası (%) - 2	3.88	7.46	9.20	9.79
Ortalama Su Muhtevası (%)	3.90	6.85	8.55	10.99
Optimum Su Muhtevası (%)	7.30			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.58			



Şekil EK 2.19. 25 KA 75 O kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.20. 25 KA 75 Z modifiye Proctor deney sonuçları

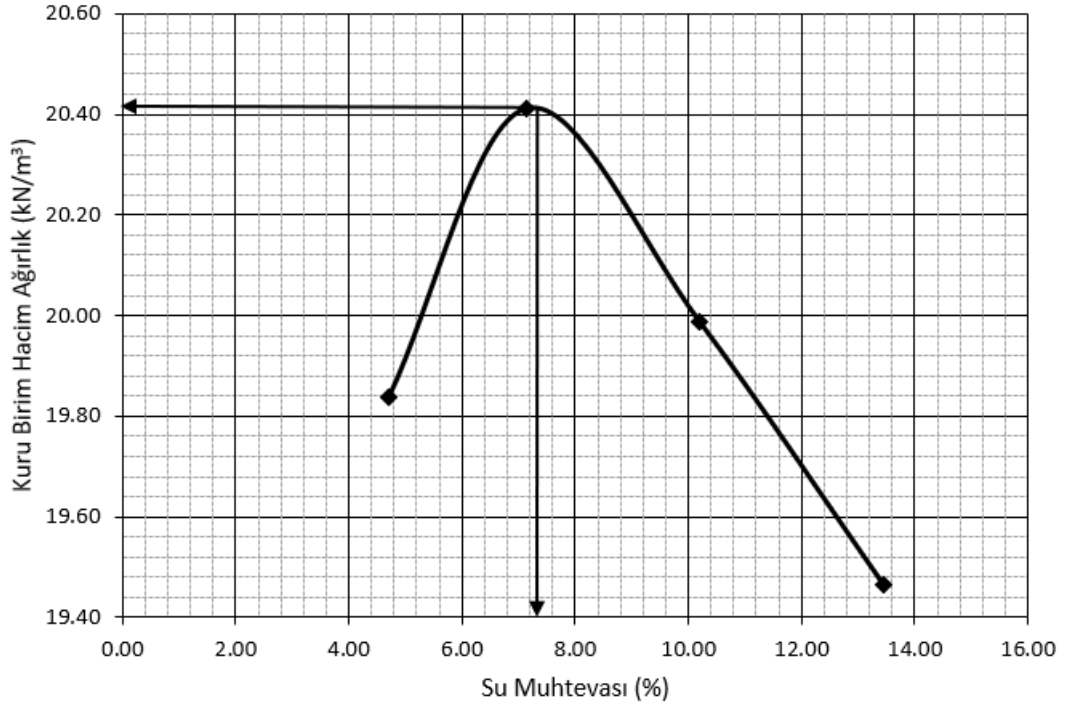
Numune Adı	25 KA 75 Z			
	1	2	3	4
Deney Numarası	10266.00	10501.00	10579.00	10559.50
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	5798.50	5798.50	5798.50	5798.50
Kalıp Kütle (gr)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4467.50	4702.50	4780.50	4761.00
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	20.87	21.97	22.33	22.24
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	19.52	20.21	20.10	19.42
Deney Numarası	114.37	136.01	102.99	168.29
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	103.54	106.17	99.66	142.65
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	107.62	128.02	91.92	147.87
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	97.13	97.96	91.77	125.85
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	6.64	32.70	6.63	9.37
Kap (gr) - 1	6.73	6.63	6.57	8.42
Kap (gr) - 2	6.68	8.38	12.98	14.74
Su Muhtevası (%) - 2	7.09	8.99	9.26	14.31
Ortalama Su Muhtevası (%)	6.89	8.69	11.12	14.53
Optimum Su Muhtevası (%)	9.20			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.24			



Şekil EK 2.20. 25 KA 75 Z kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.21. 25 DA 75 G modifiye Proctor deney sonuçları

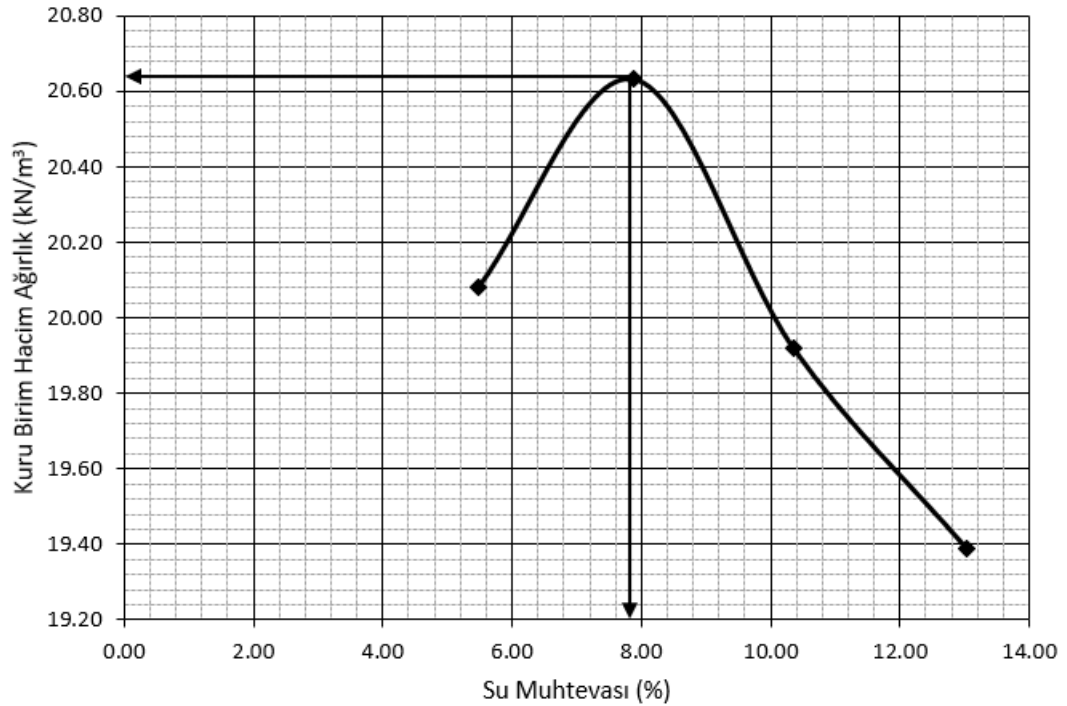
Numune Adı	25 DA 75 G			
	1	2	3	4
Deney Numarası				
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	10245.00	10480.00	10513.50	10525.50
Kalıp Kütlesi (gr)	5798.50	5798.50	5798.50	5798.50
Kalıp Hacmi (cm ³)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4446.50	4681.50	4715.00	4727.00
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	20.77	21.87	22.03	22.08
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	19.84	20.41	19.99	19.46
Deney Numarası	152.41	122.51	133.06	189.71
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	141.26	121.45	127.31	169.32
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	146.89	115.22	123.97	169.65
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	135.82	115.70	118.54	148.95
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	24.35	22.41	32.52	6.65
Kap (gr) - 1	25.22	26.36	34.70	9.32
Kap (gr) - 2	4.50	7.85	9.94	12.31
Su Muhtevası (%) - 2	4.92	6.44	10.46	14.59
Ortalama Su Muhtevası (%)	4.71	7.15	10.20	13.45
Optimum Su Muhtevası (%)	7.23			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.42			



Şekil EK 2.21. 25 DA 75 G kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.22. 25 DA 75 O modifiye Proctor deney sonuçları

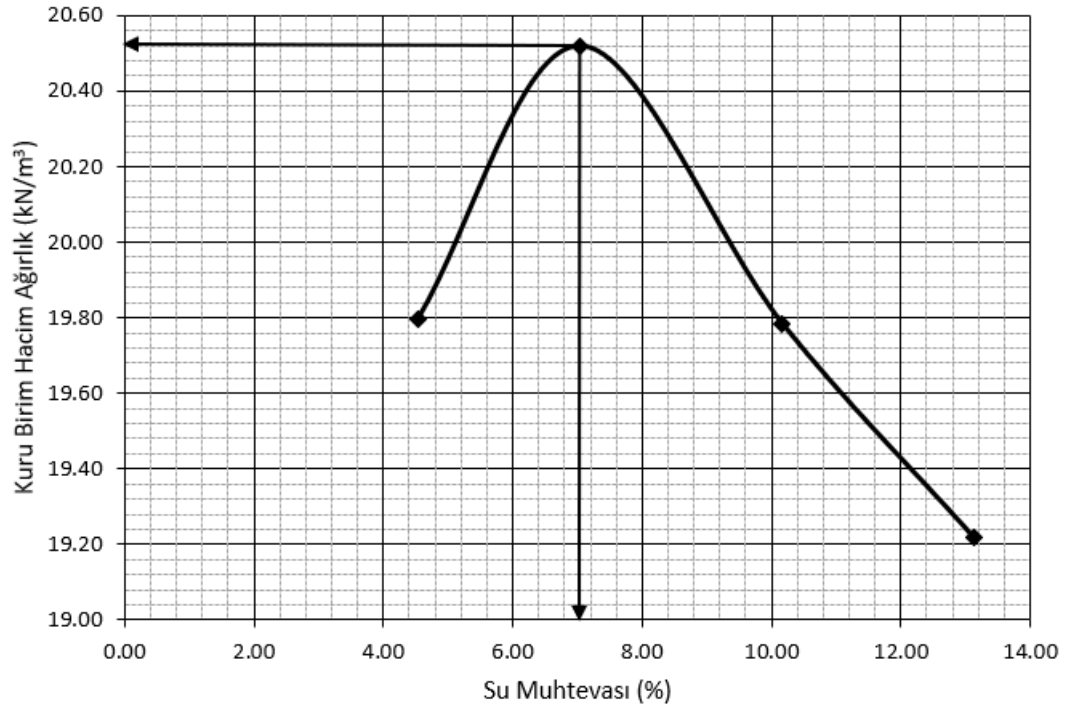
Numune Adı	25 DA 75 O			
	1	2	3	4
Deney Numarası				
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	10377.00	10608.00	10548.00	10533.50
Kalıp Kütlesi (gr)	5842.50	5842.50	5842.50	5842.50
Kalıp Hacmi (cm ³)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4534.50	4765.50	4705.50	4691.00
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	21.18	22.26	21.98	21.91
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.08	20.63	19.92	19.39
Deney Numarası	172.03	188.70	288.04	179.62
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	170.89	136.69	193.40	149.38
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	163.57	176.29	261.77	161.34
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	162.48	126.69	177.42	132.15
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	9.30	9.88	27.06	12.64
Kap (gr) - 1	9.43	6.63	9.64	6.98
Kap (gr) - 2	5.48	7.46	11.19	12.29
Su Muhtevası (%) - 2	5.49	8.33	9.52	13.77
Ortalama Su Muhtevası (%)	5.49	7.89	10.36	13.03
Optimum Su Muhtevası (%)	7.80			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.64			



Şekil EK 2.22. 25 DA 75 O kompaksiyon eğrisi

Çizelge EK 2.23. 25 DA 75 Z modifiye Proctor deney sonuçları

Numune Adı	25 DA 75 Z			
	1	2	3	4
Deney Numarası	10228.50	10500.00	10464.00	10452.50
Kalıp + Sıkıştırılmış Numune (gr)	5798.50	5798.50	5798.50	5798.50
Kalıp Kütle (gr)	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00
Sıkıştırılmış Numune (gr)	4430.00	4701.50	4665.50	4654.00
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	20.69	21.96	21.79	21.74
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	19.80	20.52	19.78	19.22
Deney Numarası	124.94	131.30	143.84	155.78
Yaş Numune + Kap (gr) - 1	181.53	157.61	133.83	162.67
Yaş Numune + Kap (gr) - 2	119.14	123.34	131.75	140.71
Kuru Numune + Kap (gr) - 1	175.07	147.62	121.78	144.97
Kuru Numune + Kap (gr) - 2	6.63	6.63	9.43	22.47
Kap (gr) - 1	9.63	9.91	6.45	13.92
Kap (gr) - 2	5.16	6.82	9.88	12.75
Su Muhtevası (%) - 2	3.90	7.25	10.45	13.51
Ortalama Su Muhtevası (%)	4.53	7.04	10.17	13.13
Optimum Su Muhtevası (%)	7.10			
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	20.52			

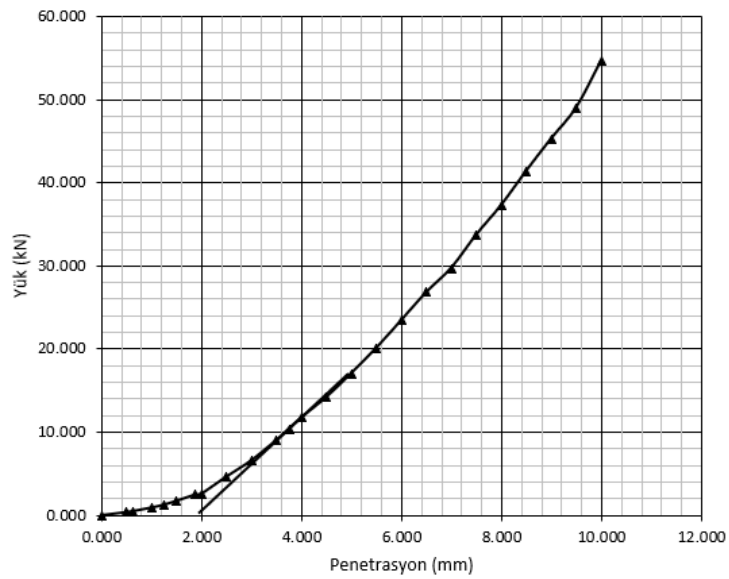


Şekil EK 2.23. 25 DA 75 Z kompaksiyon eğrisi

EK-3 Ayrıntılı CBR deney sonuçları

Çizelge EK 3.1. 100 KA yaş CBR deney sonuçları

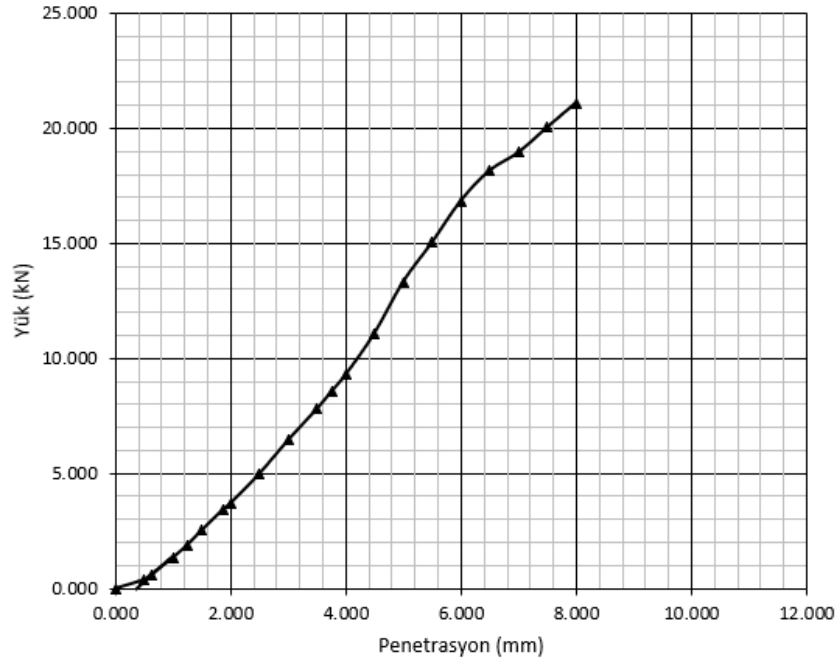
Numune Adı	100 KA			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.368			
0.625	0.489			
1.000	0.916			
1.250	1.263			
1.500	1.722			
1.875	2.470			
2.000	2.578			
2.500	4.633	14.199	13.240	107.243
3.000	6.590			
3.500	9.038			
3.750	10.400			
4.000	11.753			
4.500	14.199			
5.000	17.069	29.730	20.012	148.561
5.500	20.113			
6.000	23.443			
6.500	26.814			
7.000	29.730			
7.500	33.722			
8.000	37.286			
8.500	41.392			
9.000	45.283			
9.500	49.007			
10.000	54.661			



Şekil EK 3.1. 100 KA yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.2. 100 DA yaş CBR deney sonuçları

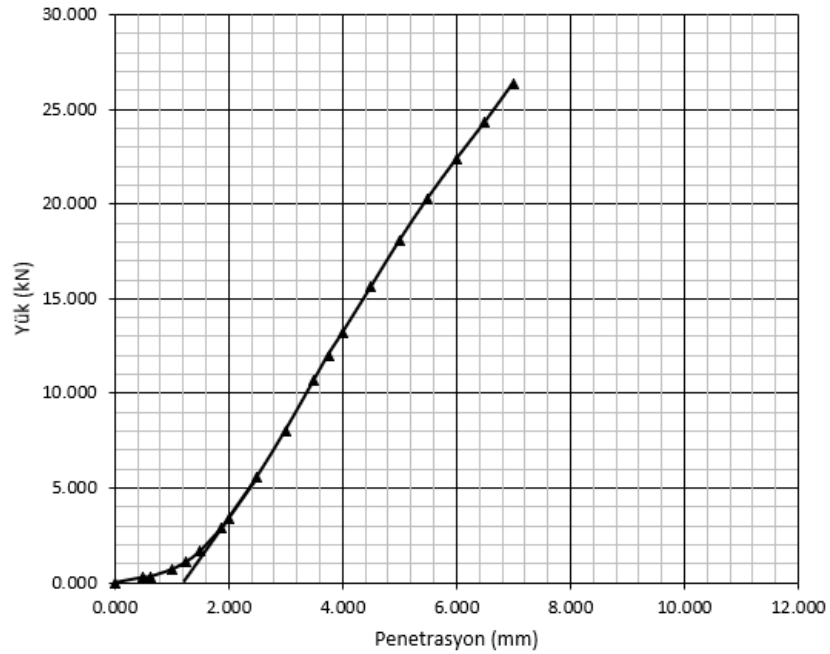
Numune Adı	100 DA			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.382			
0.625	0.614			
1.000	1.335			
1.250	1.891			
1.500	2.525			
1.875	3.439			
2.000	3.705			
2.500	4.978	6.440	13.240	48.640
3.000	6.440			
3.500	7.797			
3.750	8.547			
4.000	9.288			
4.500	11.085			
5.000	13.328	15.037	20.012	75.140
5.500	15.037			
6.000	16.850			
6.500	18.163			
7.000	18.955			
7.500	20.045			
8.000	21.112			
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.2. 100 DA yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.3. 100 G yaş CBR deney sonuçları

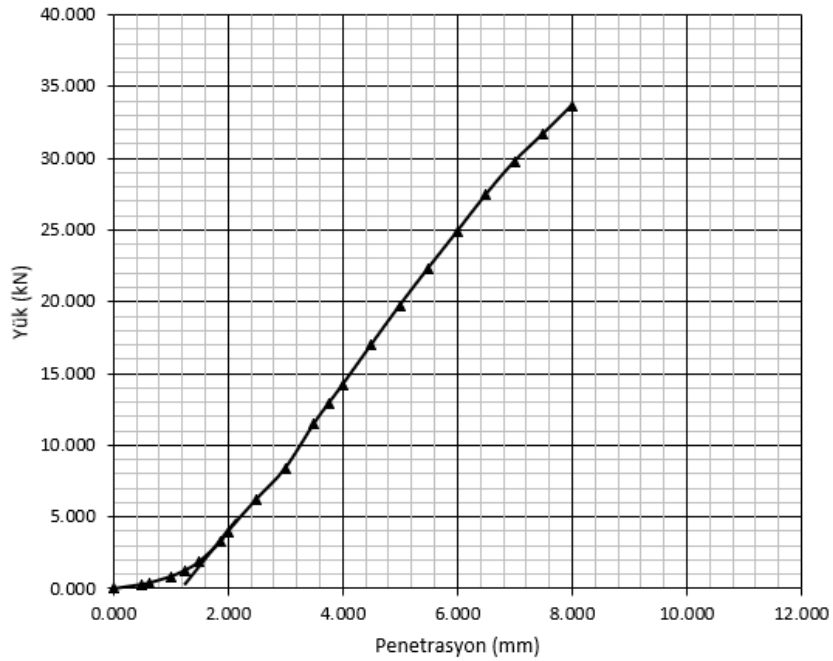
Numune Adı	100 G			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.276			
0.625	0.317			
1.000	0.690			
1.250	1.077			
1.500	1.657			
1.875	2.871			
2.000	3.394			
2.500	5.580	12.020	13.240	90.785
3.000	8.036			
3.500	10.683			
3.750	12.017			
4.000	13.183			
4.500	15.599			
5.000	18.045	22.814	20.012	114.002
5.500	20.293			
6.000	22.347			
6.500	24.301			
7.000	26.370			
7.500				
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.3. 100 G yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.4. 100 O yaş CBR deney sonuçları

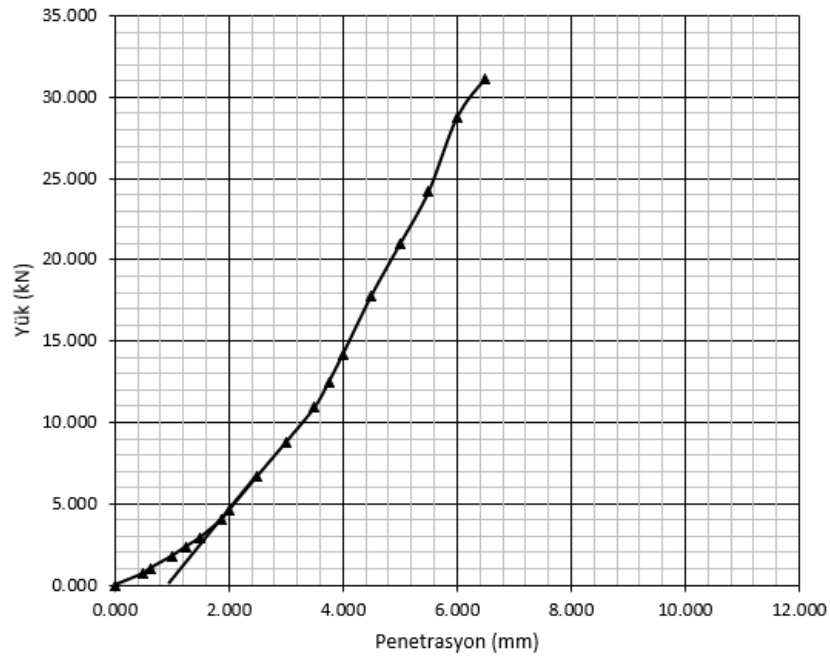
Numune Adı	100 O			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.302			
0.625	0.402			
1.000	0.846			
1.250	1.275			
1.500	1.883			
1.875	3.264			
2.000	3.977			
2.500	6.240	12.855	13.240	97.092
3.000	8.376			
3.500	11.476			
3.750	12.855			
4.000	14.189			
4.500	16.979			
5.000	19.731	25.900	20.012	129.422
5.500	22.337			
6.000	24.867			
6.500	27.436			
7.000	29.758			
7.500	31.667			
8.000	33.645			
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.4. 100 O yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.5. 100 Z yaş CBR deney sonuçları

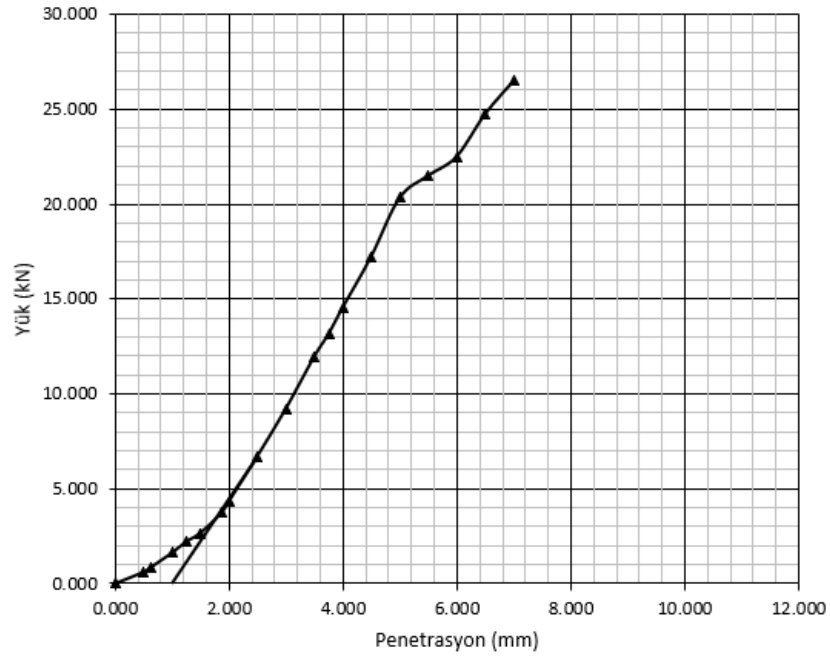
Numune Adı	100 Z			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.730			
0.625	1.040			
1.000	1.790			
1.250	2.380			
1.500	2.940			
1.875	4.060			
2.000	4.600			
2.500	6.700	10.910	13.240	82.402
3.000	8.770			
3.500	10.910			
3.750	12.470			
4.000	14.200			
4.500	17.800			
5.000	20.960	26.770	20.012	133.770
5.500	24.180			
6.000	28.770			
6.500	31.170			
7.000				
7.500				
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.5. 100 Z yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.6. 75 KA 25 G yaş CBR deney sonuçları

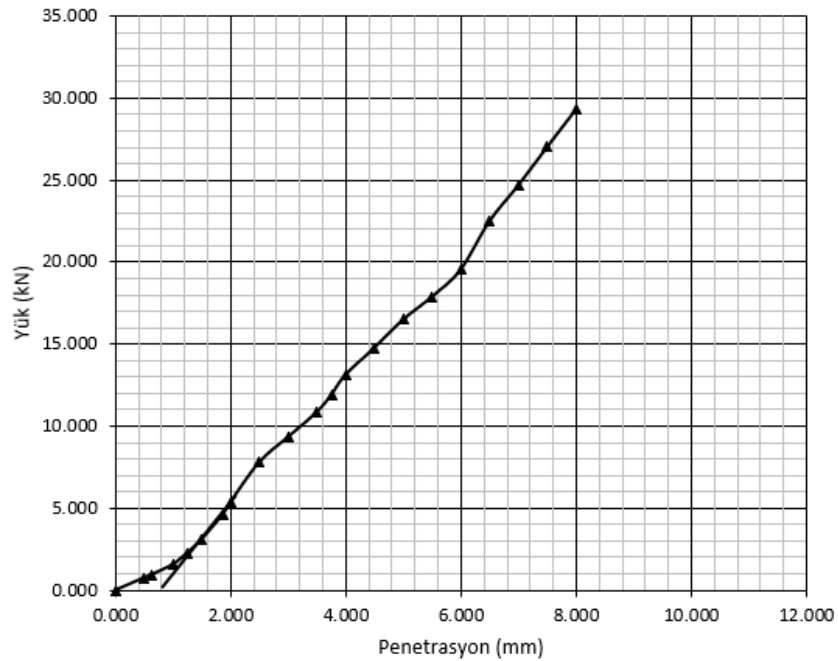
Numune Adı	75 KA 25 G			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.610			
0.625	0.850			
1.000	1.620			
1.250	2.210			
1.500	2.670			
1.875	3.750			
2.000	4.330			
2.500	6.710	11.960	13.240	90.332
3.000	9.210			
3.500	11.960			
3.750	13.150			
4.000	14.550			
4.500	17.230			
5.000	20.330	22.500	20.012	112.433
5.500	21.500			
6.000	22.500			
6.500	24.740			
7.000	26.490			
7.500				
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.6. 75 KA 25 G yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.7. 75 KA 25 O yaş CBR deney sonuçları

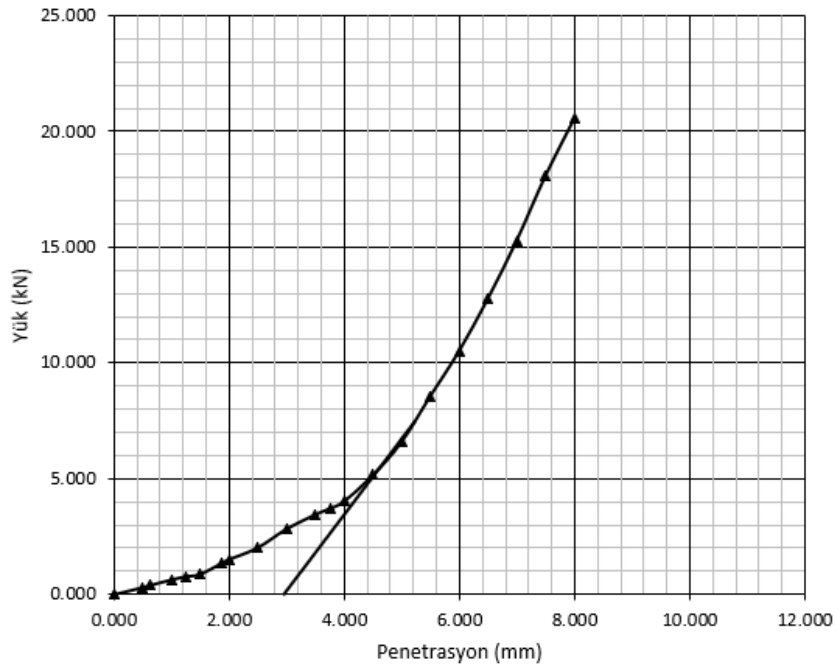
Numune Adı	75 KA 25 O			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.760			
0.625	0.940			
1.000	1.580			
1.250	2.280			
1.500	3.110			
1.875	4.650			
2.000	5.360			
2.500	7.800	10.200	13.240	77.039
3.000	9.340			
3.500	10.860			
3.750	11.900			
4.000	13.140			
4.500	14.780			
5.000	16.500	19.000	20.012	94.943
5.500	17.900			
6.000	19.550			
6.500	22.500			
7.000	24.690			
7.500	27.020			
8.000	29.310			
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.7. 75 KA 25 O yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.8. 75 KA 25 Z yaş CBR deney sonuçları

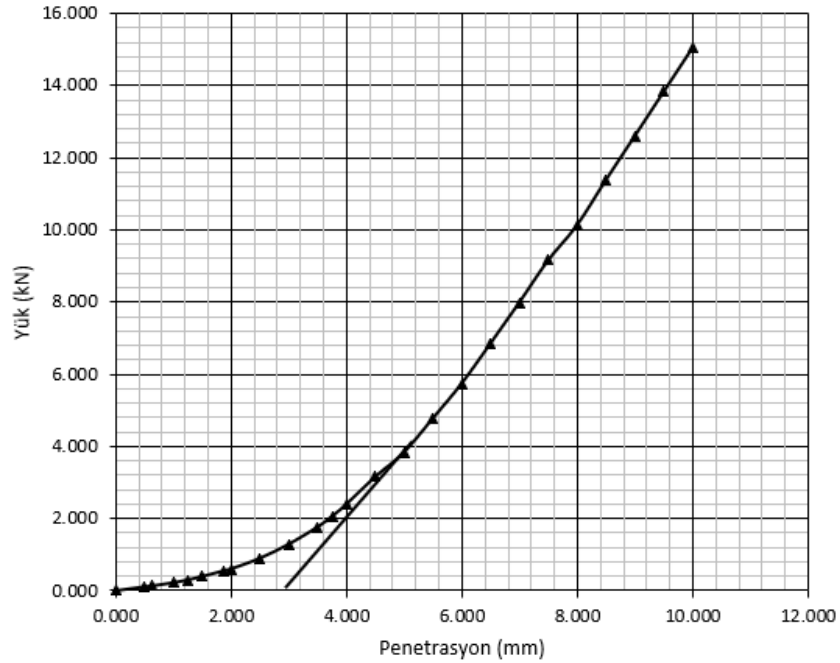
Numune Adı	75 KA 25 Z			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.308			
0.625	0.400			
1.000	0.638			
1.250	0.785			
1.500	0.877			
1.875	1.354			
2.000	1.515			
2.500	2.023	8.569	13.240	64.721
3.000	2.831			
3.500	3.454			
3.750	3.715			
4.000	4.023			
4.500	5.154			
5.000	6.585	20.554	20.012	102.708
5.500	8.569			
6.000	10.516			
6.500	12.777			
7.000	15.285			
7.500	18.077			
8.000	20.554			
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.8. 75 KA 25 Z yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.9. 75 DA 25 G yaş CBR deney sonuçları

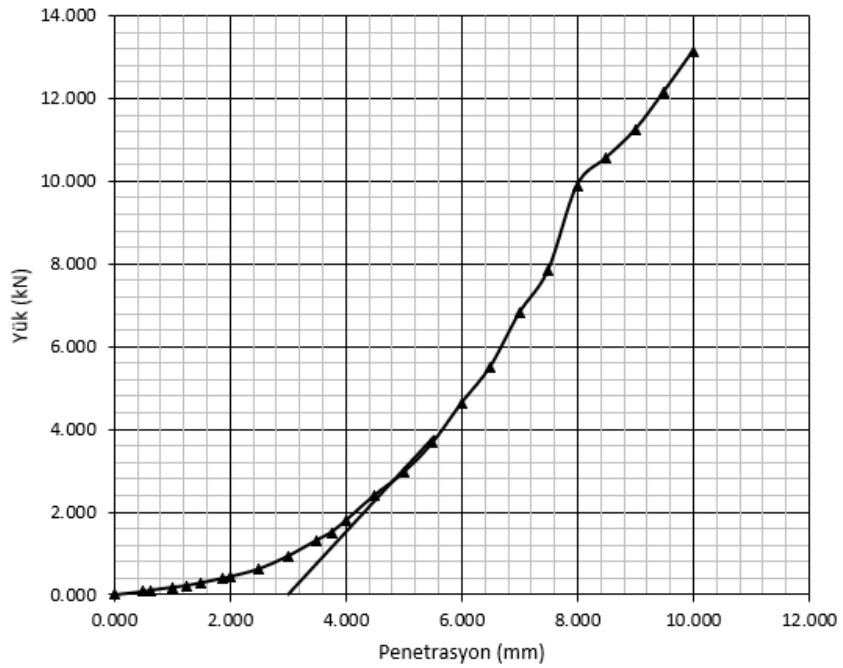
Numune Adı	75 DA 25 G			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.109			
0.625	0.133			
1.000	0.223			
1.250	0.299			
1.500	0.395			
1.875	0.553			
2.000	0.604			
2.500	0.898	4.777	13.240	36.080
3.000	1.287			
3.500	1.765			
3.750	2.058			
4.000	2.394			
4.500	3.156			
5.000	3.835	10.133	20.012	50.635
5.500	4.777			
6.000	5.743			
6.500	6.854			
7.000	7.991			
7.500	9.162			
8.000	10.133			
8.500	11.385			
9.000	12.603			
9.500	13.829			
10.000	15.047			



Şekil EK 3.9. 75 DA 25 G yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.10. 75 DA 25 O yaş CBR deney sonuçları

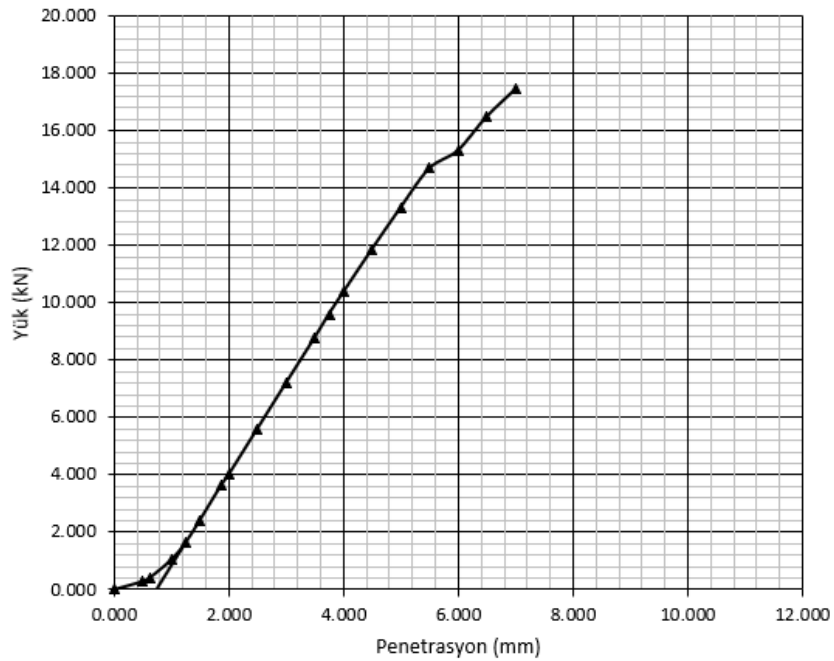
Numune Adı	75 DA 25 O			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.076			
0.625	0.110			
1.000	0.180			
1.250	0.224			
1.500	0.290			
1.875	0.398			
2.000	0.437			
2.500	0.624	3.669	13.240	27.711
3.000	0.932			
3.500	1.319			
3.750	1.511			
4.000	1.791			
4.500	2.406			
5.000	2.950	9.897	20.012	49.455
5.500	3.669			
6.000	4.628			
6.500	5.512			
7.000	6.805			
7.500	7.844			
8.000	9.897			
8.500	10.559			
9.000	11.231			
9.500	12.157			
10.000	13.138			



Şekil EK 3.10. 75 DA 25 O yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.11. 75 DA 25 Z yaş CBR deney sonuçları

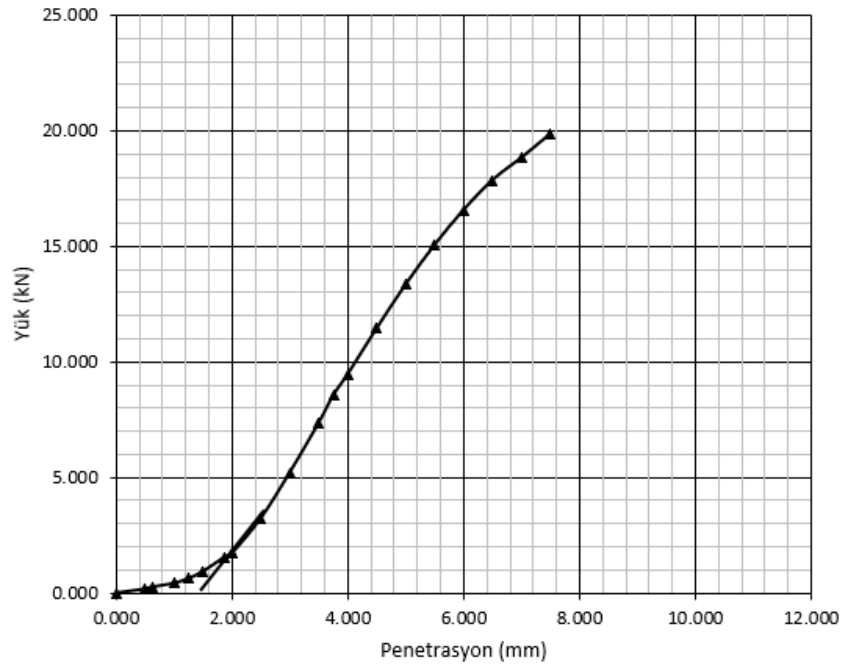
Numune Adı	75 DA 25 Z			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.285			
0.625	0.411			
1.000	1.038			
1.250	1.632			
1.500	2.419			
1.875	3.652			
2.000	4.006			
2.500	5.603	9.200	13.240	69.486
3.000	7.201			
3.500	8.788			
3.750	9.609			
4.000	10.374			
4.500	11.872			
5.000	13.326	15.020	20.012	75.055
5.500	14.691			
6.000	15.323			
6.500	16.497			
7.000	17.448			
7.500				
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.11. 75 DA 25 Z yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.12. 50 KA 50 G yaş CBR deney sonuçları

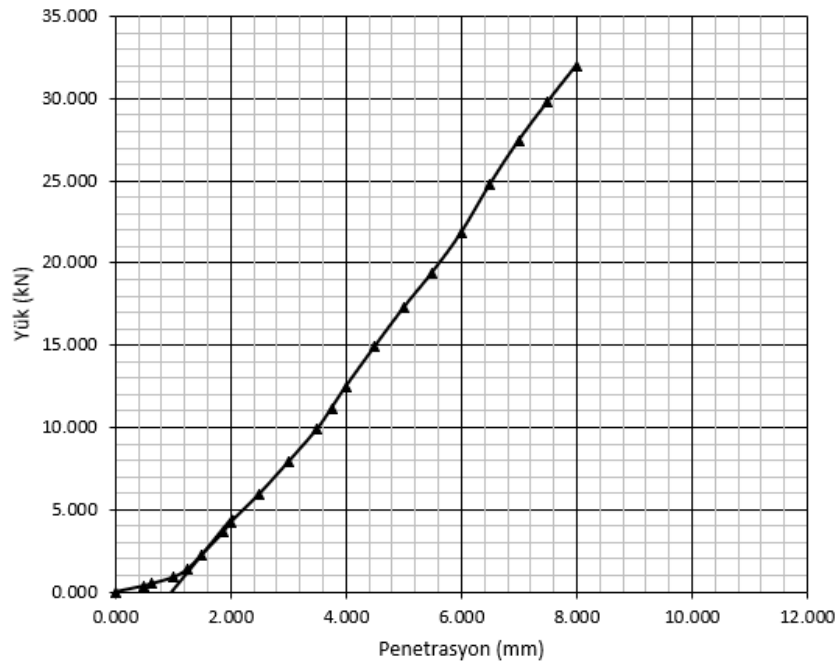
Numune Adı	50 KA 50 G			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.174			
0.625	0.257			
1.000	0.422			
1.250	0.624			
1.500	0.930			
1.875	1.550			
2.000	1.714			
2.500	3.228	9.466	13.240	71.495
3.000	5.211			
3.500	7.365			
3.750	8.550			
4.000	9.466			
4.500	11.450			
5.000	13.348	17.864	20.012	89.266
5.500	15.061			
6.000	16.571			
6.500	17.864			
7.000	18.835			
7.500	19.869			
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.12. 50 KA 50 G yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.13. 50 KA 50 O yaş CBR deney sonuçları

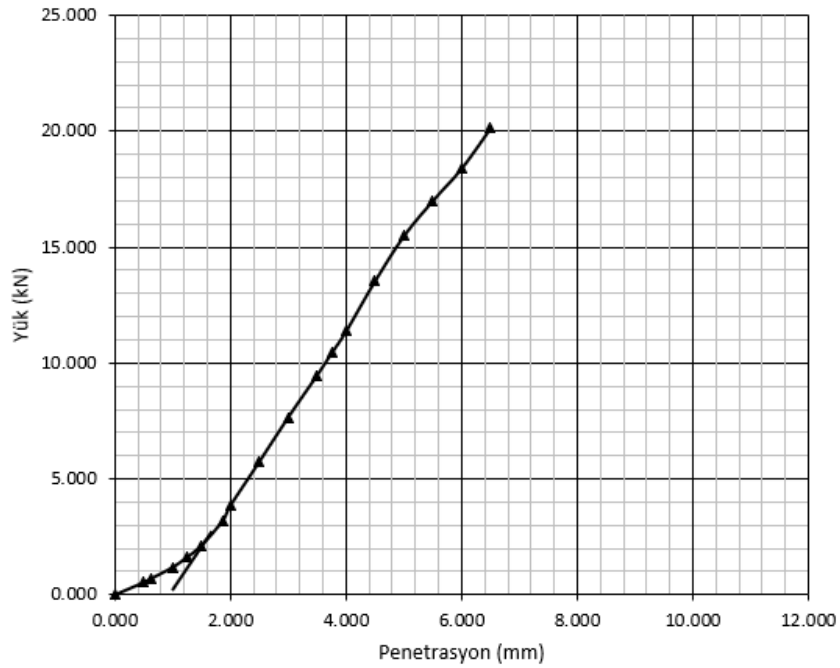
Numune Adı	50 KA 50 O			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.366			
0.625	0.488			
1.000	0.877			
1.250	1.365			
1.500	2.250			
1.875	3.623			
2.000	4.211			
2.500	5.950	9.830	13.240	74.245
3.000	7.887			
3.500	9.893			
3.750	11.159			
4.000	12.479			
4.500	14.912			
5.000	17.269	21.838	20.012	109.125
5.500	19.428			
6.000	21.838			
6.500	24.790			
7.000	27.460			
7.500	29.802			
8.000	32.021			
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.13. 50 KA 50 O yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.14. 50 KA 50 Z yaş CBR deney sonuçları

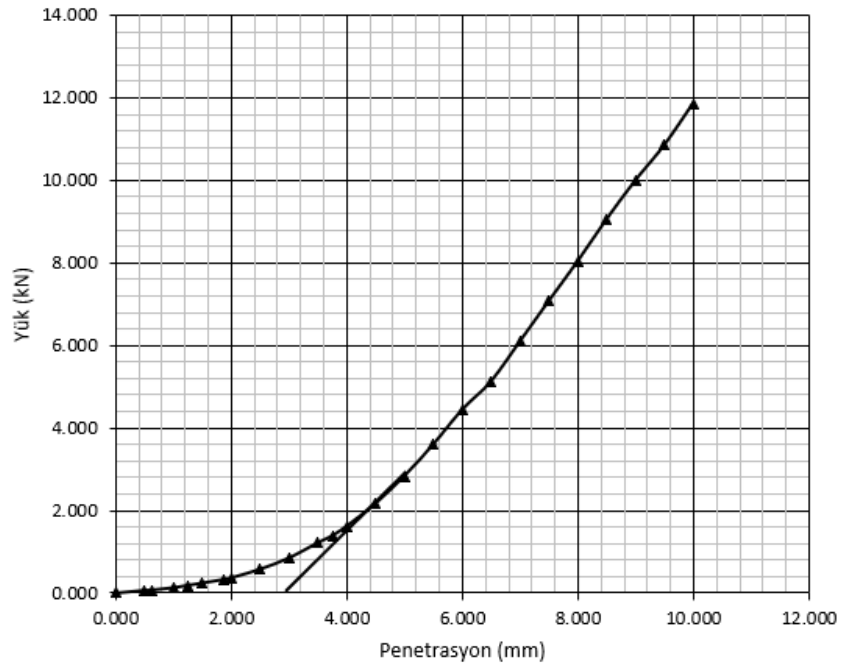
Numune Adı	50 KA 50 Z			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.538			
0.625	0.699			
1.000	1.189			
1.250	1.622			
1.500	2.133			
1.875	3.217			
2.000	3.846			
2.500	5.741	9.483	13.240	71.624
3.000	7.664			
3.500	9.483			
3.750	10.434			
4.000	11.371			
4.500	13.538			
5.000	15.490	18.413	20.012	92.010
5.500	17.014			
6.000	18.413			
6.500	20.154			
7.000				
7.500				
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.14. 50 KA 50 Z yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.15. 50 DA 50 G yaş CBR deney sonuçları

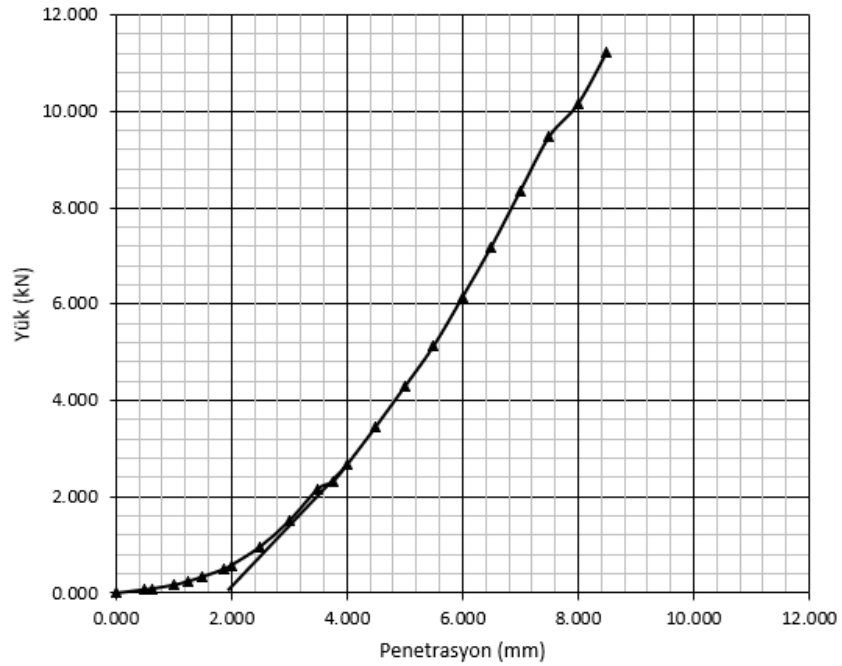
Numune Adı	50 DA 50 G			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.066			
0.625	0.075			
1.000	0.131			
1.250	0.188			
1.500	0.243			
1.875	0.332			
2.000	0.369			
2.500	0.577	3.596	13.240	27.160
3.000	0.848			
3.500	1.216			
3.750	1.389			
4.000	1.620			
4.500	2.168			
5.000	2.831	8.032	20.012	40.136
5.500	3.596			
6.000	4.438			
6.500	5.126			
7.000	6.090			
7.500	7.071			
8.000	8.032			
8.500	9.050			
9.000	9.994			
9.500	10.848			
10.000	11.863			



Şekil EK 3.15. 50 DA 50 G yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.16. 50 DA 50 O yaş CBR deney sonuçları

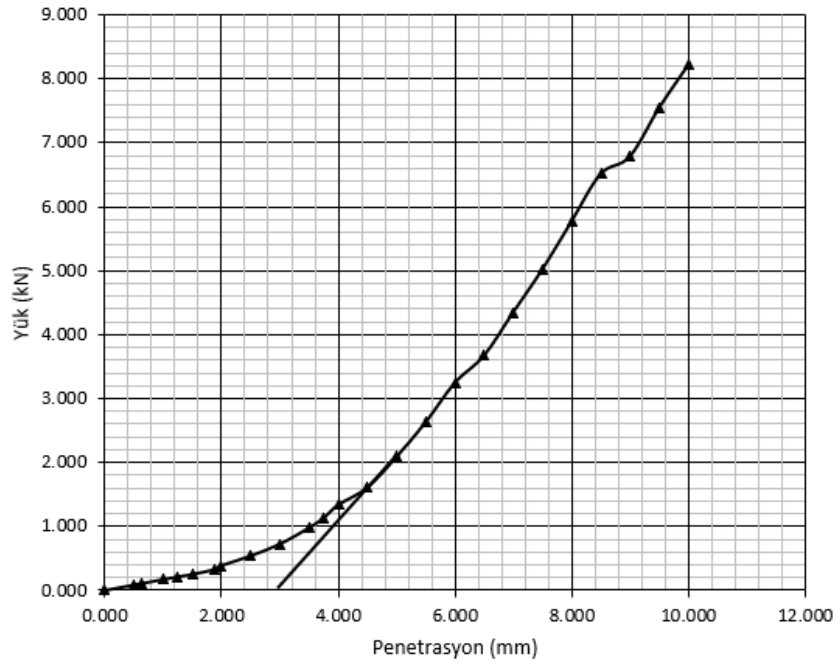
Numune Adı	50 DA 50 O			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.073			
0.625	0.091			
1.000	0.168			
1.250	0.243			
1.500	0.339			
1.875	0.498			
2.000	0.577			
2.500	0.963	3.451	13.240	26.065
3.000	1.493			
3.500	2.164			
3.750	2.304			
4.000	2.658			
4.500	3.451			
5.000	4.280	9.472	20.012	47.332
5.500	5.124			
6.000	6.142			
6.500	7.188			
7.000	8.343			
7.500	9.472			
8.000	10.150			
8.500	11.236			
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.16. 50 DA 50 O yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.17. 50 DA 50 Z yaş CBR deney sonuçları

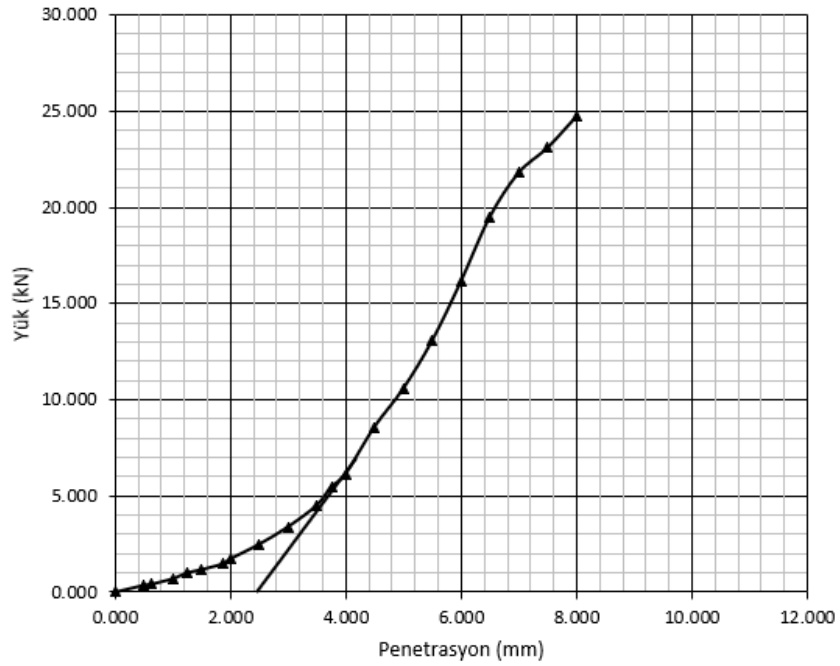
Numune Adı	50 DA 50 Z			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.085			
0.625	0.106			
1.000	0.170			
1.250	0.213			
1.500	0.251			
1.875	0.326			
2.000	0.388			
2.500	0.541	2.630	13.240	19.864
3.000	0.725			
3.500	0.979			
3.750	1.134			
4.000	1.337			
4.500	1.609			
5.000	2.090	6.513	20.012	32.545
5.500	2.630			
6.000	3.248			
6.500	3.671			
7.000	4.349			
7.500	5.021			
8.000	5.769			
8.500	6.513			
9.000	6.784			
9.500	7.542			
10.000	8.214			



Şekil EK 3.17. 50 DA 50 Z yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.18. 25 KA 75 G yaş CBR deney sonuçları

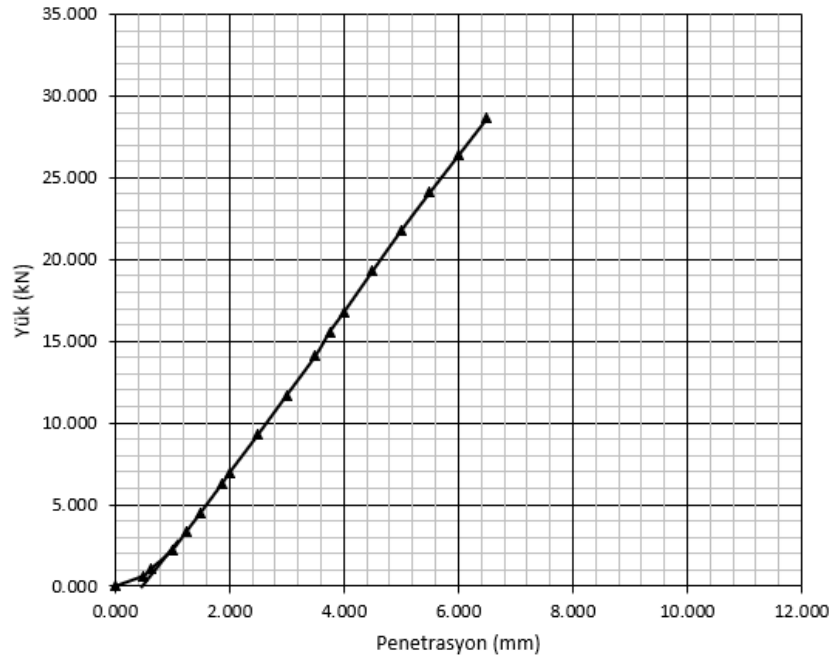
Numune Adı	25 KA 75 G			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.352			
0.625	0.410			
1.000	0.695			
1.250	1.000			
1.500	1.171			
1.875	1.476			
2.000	1.724			
2.500	2.486	10.571	13.240	79.841
3.000	3.390			
3.500	4.514			
3.750	5.467			
4.000	6.143			
4.500	8.581			
5.000	10.571	23.095	20.012	115.406
5.500	13.057			
6.000	16.133			
6.500	19.486			
7.000	21.790			
7.500	23.095			
8.000	24.714			
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.18. 25 KA 75 G yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.19. 25 KA 75 O yaş CBR deney sonuçları

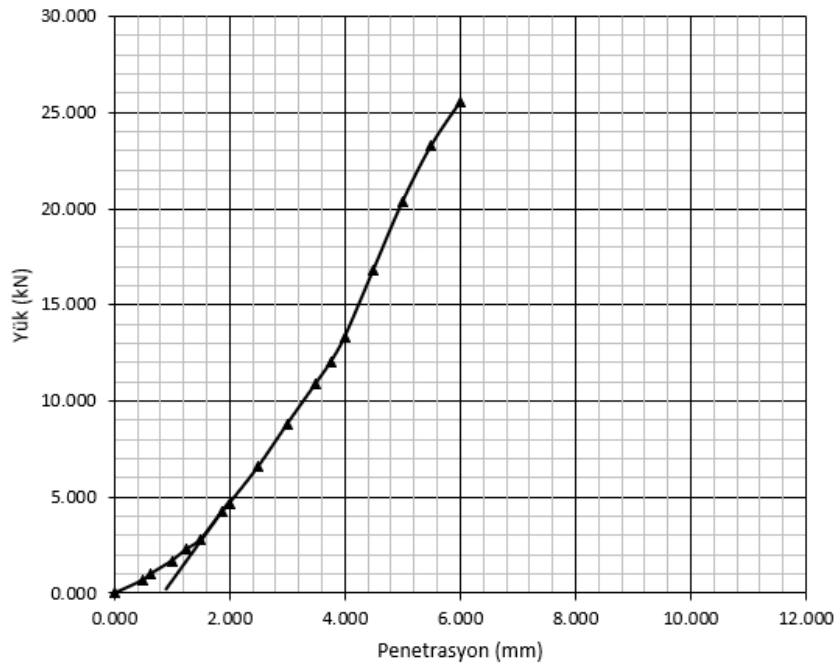
Numune Adı	25 KA 75 O			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.653			
0.625	1.051			
1.000	2.212			
1.250	3.354			
1.500	4.514			
1.875	6.300			
2.000	6.944			
2.500	9.288	11.699	13.240	88.361
3.000	11.699			
3.500	14.105			
3.750	15.573			
4.000	16.797			
4.500	19.313			
5.000	21.797	24.126	20.012	120.558
5.500	24.126			
6.000	26.396			
6.500	28.671			
7.000				
7.500				
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.19. 25 KA 75 O yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.20. 25 KA 75 Z yaş CBR deney sonuçları

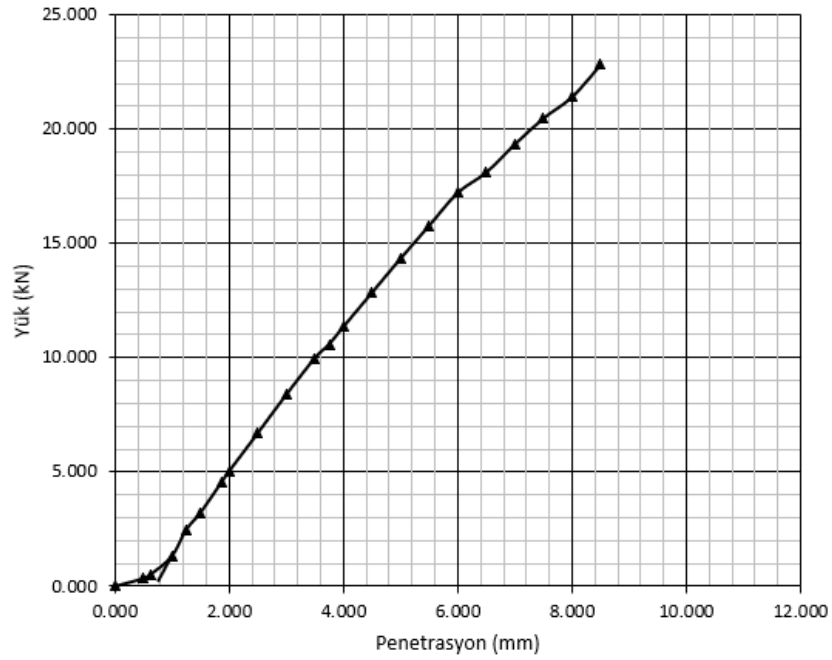
Numune Adı	25 KA 75 Z			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.700			
0.625	1.000			
1.000	1.700			
1.250	2.300			
1.500	2.820			
1.875	4.280			
2.000	4.690			
2.500	6.600	10.930	13.240	82.553
3.000	8.800			
3.500	10.930			
3.750	12.010			
4.000	13.340			
4.500	16.840			
5.000	20.350	25.550	20.012	127.673
5.500	23.300			
6.000	25.550			
6.500				
7.000				
7.500				
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.20. 25 KA 75 Z yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.21. 25 DA 75 G yaş CBR deney sonuçları

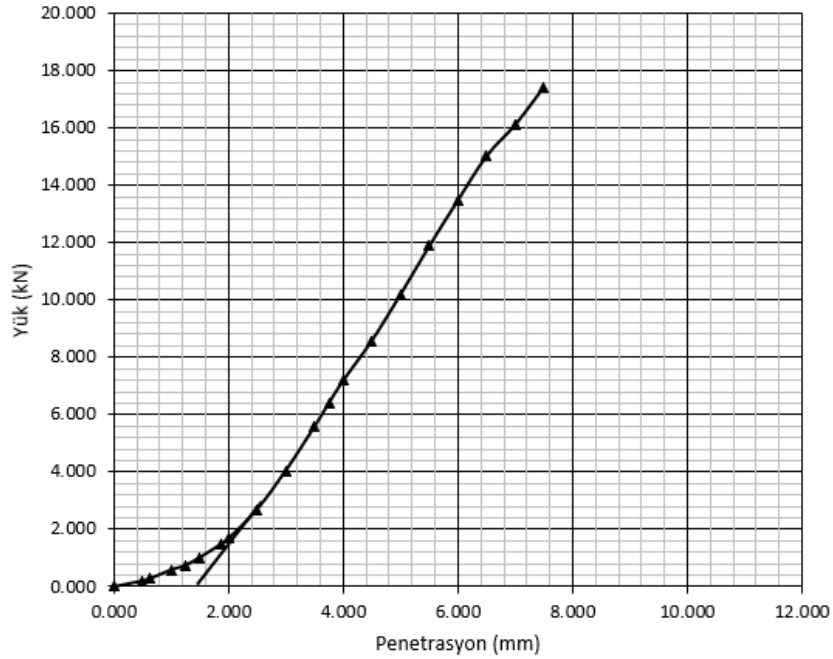
Numune Adı	25 DA 75 G			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.340			
0.625	0.515			
1.000	1.307			
1.250	2.468			
1.500	3.217			
1.875	4.573			
2.000	5.027			
2.500	6.693	9.200	13.240	69.486
3.000	8.385			
3.500	9.985			
3.750	10.596			
4.000	11.359			
4.500	12.853			
5.000	14.348	16.750	20.012	83.700
5.500	15.783			
6.000	17.225			
6.500	18.117			
7.000	19.350			
7.500	20.487			
8.000	21.418			
8.500	22.831			
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.21. 25 DA 75 G yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.22. 25 DA 75 O yaş CBR deney sonuçları

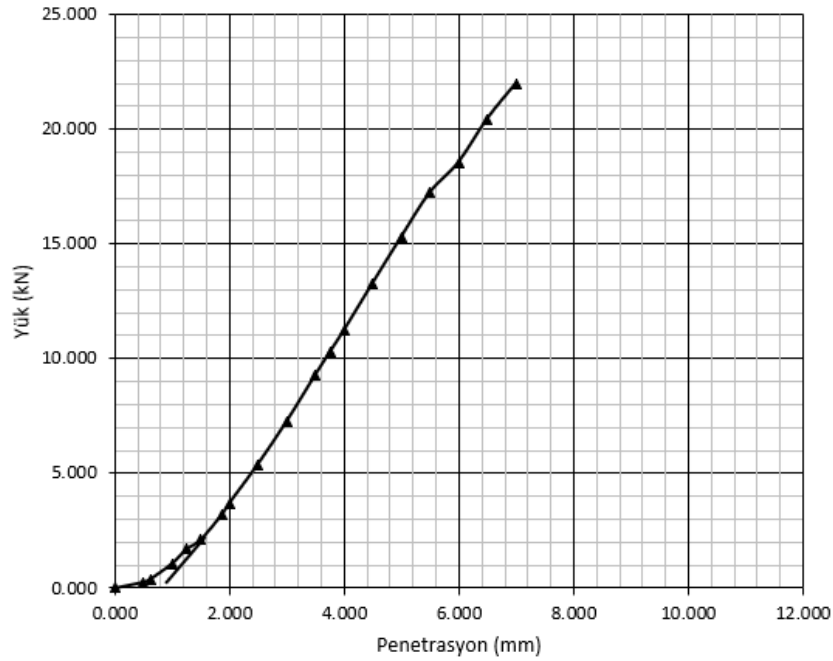
Numune Adı	25 DA 75 O			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.203			
0.625	0.275			
1.000	0.583			
1.250	0.745			
1.500	1.016			
1.875	1.492			
2.000	1.680			
2.500	2.695	7.186	13.240	54.275
3.000	4.049			
3.500	5.583			
3.750	6.398			
4.000	7.186			
4.500	8.580			
5.000	10.192	15.022	20.012	75.065
5.500	11.880			
6.000	13.479			
6.500	15.022			
7.000	16.117			
7.500	17.437			
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.22. 25 DA 75 O yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.23. 25 DA 75 Z yaş CBR deney sonuçları

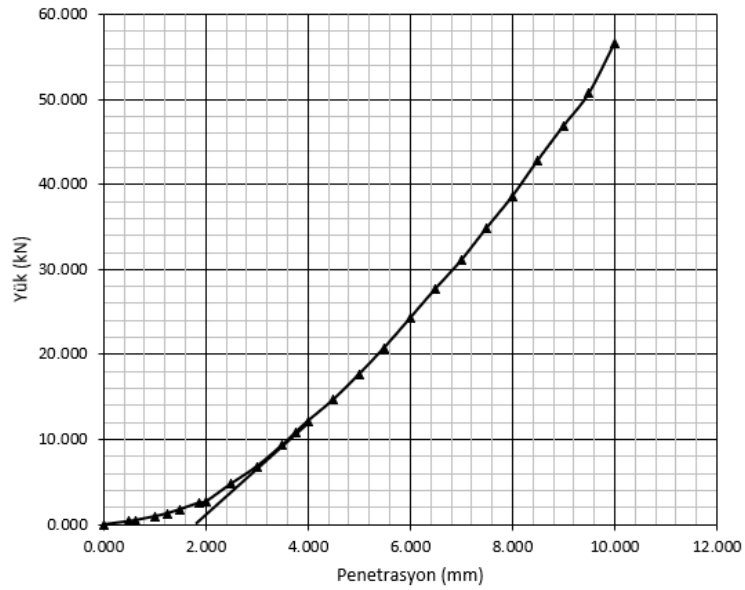
Numune Adı	25 DA 75 Z			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.262			
0.625	0.397			
1.000	1.064			
1.250	1.688			
1.500	2.102			
1.875	3.213			
2.000	3.693			
2.500	5.398	9.281	13.240	70.098
3.000	7.259			
3.500	9.281			
3.750	10.262			
4.000	11.231			
4.500	13.280			
5.000	15.297	18.550	20.012	92.694
5.500	17.235			
6.000	18.550			
6.500	20.440			
7.000	21.975			
7.500				
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.23. 25 DA 75 Z yaş CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.24. 100 KA kuru CBR deney sonuçları

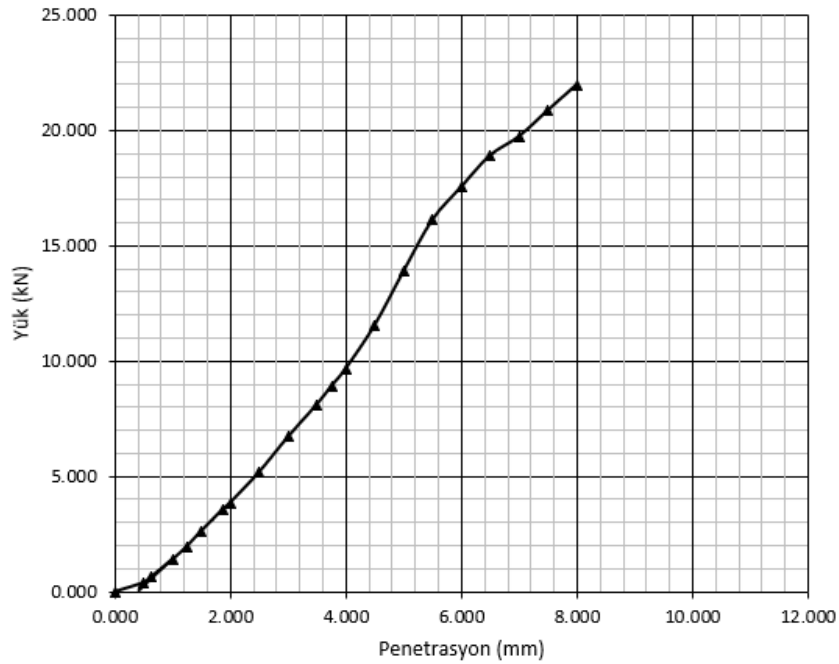
Numune Adı	100 KA			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.381			
0.625	0.506			
1.000	0.947			
1.250	1.306			
1.500	1.781			
1.875	2.554			
2.000	2.666			
2.500	4.791	13.390	13.240	101.133
3.000	6.815			
3.500	9.346			
3.750	10.755			
4.000	12.154			
4.500	14.683			
5.000	17.652	30.460	20.012	152.210
5.500	20.799			
6.000	24.243			
6.500	27.730			
7.000	31.036			
7.500	34.872			
8.000	38.559			
8.500	42.805			
9.000	46.828			
9.500	50.680			
10.000	56.526			



Şekil EK 3.24. 100 KA kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.25. 100 DA kuru CBR deney sonuçları

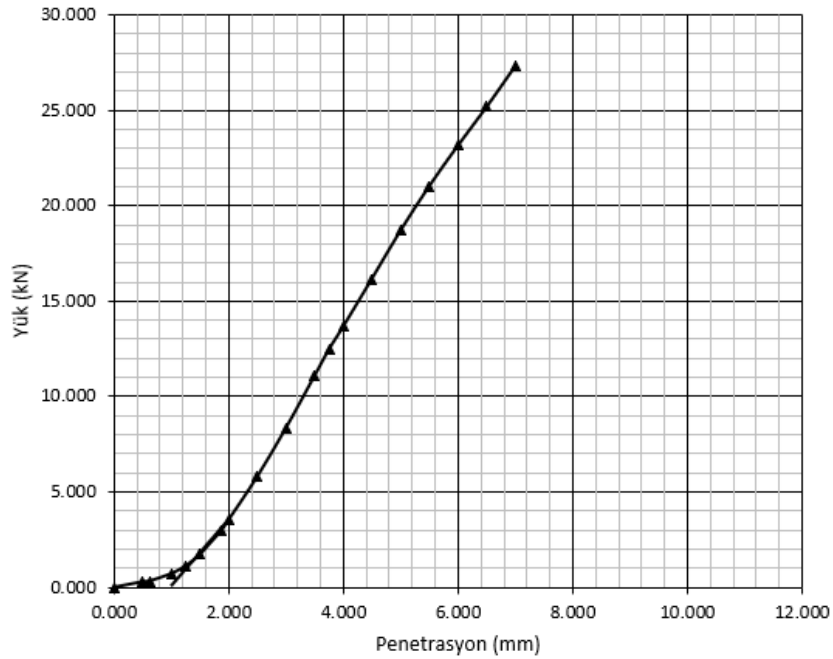
Numune Adı	100 DA			
	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)	Taşıma Oranı (%)
0.000	0.000			
0.500	0.398			
0.625	0.640			
1.000	1.391			
1.250	1.970			
1.500	2.630			
1.875	3.583			
2.000	3.859			
2.500	5.185		13.240	0.000
3.000	6.709			
3.500	8.122			
3.750	8.904			
4.000	9.674			
4.500	11.547			
5.000	13.883	15.840	20.012	79.153
5.500	16.120			
6.000	17.552			
6.500	18.920			
7.000	19.745			
7.500	20.880			
8.000	21.992			
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.25. 100 DA kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.26. 100 G kuru CBR deney sonuçları

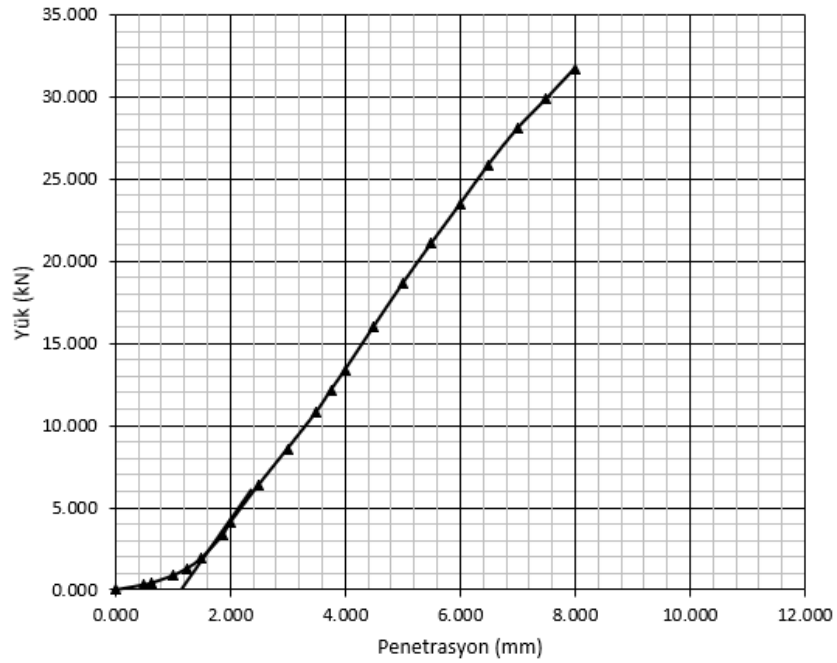
Numune Adı	100 G			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.286			
0.625	0.329			
1.000	0.715			
1.250	1.116			
1.500	1.717			
1.875	2.975			
2.000	3.517			
2.500	5.782	11.070	13.240	83.610
3.000	8.328			
3.500	11.070			
3.750	12.453			
4.000	13.661			
4.500	16.165			
5.000	18.699	23.158	20.012	115.720
5.500	21.029			
6.000	23.158			
6.500	25.183			
7.000	27.326			
7.500				
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.26. 100 G kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.27. 100 O kuru CBR deney sonuçları

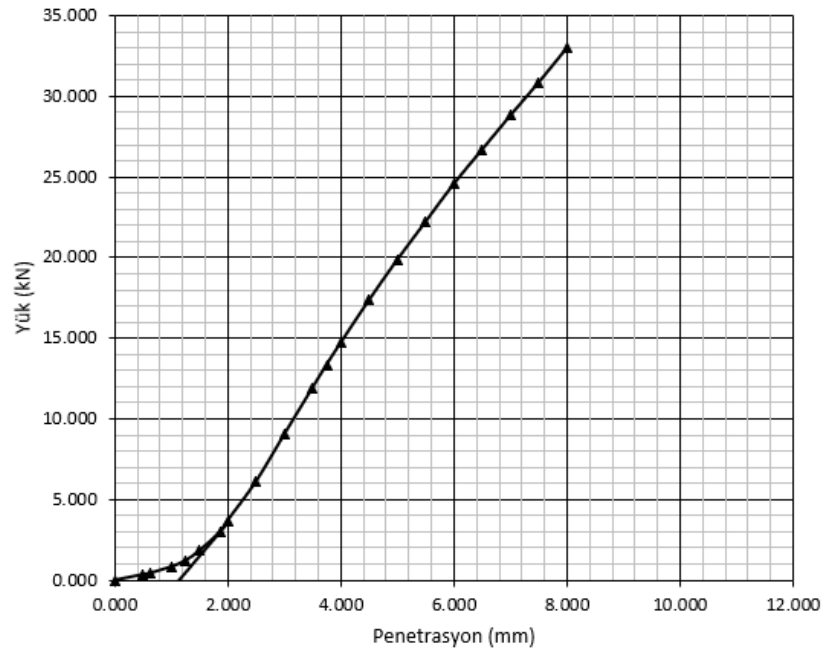
Numune Adı	100 O			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.310			
0.625	0.412			
1.000	0.868			
1.250	1.308			
1.500	1.931			
1.875	3.348			
2.000	4.079			
2.500	6.400	12.128	13.240	91.601
3.000	8.591			
3.500	10.826			
3.750	12.128			
4.000	13.386			
4.500	16.017			
5.000	18.614	24.533	20.012	122.590
5.500	21.073			
6.000	23.459			
6.500	25.883			
7.000	28.074			
7.500	29.874			
8.000	31.741			
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.27. 100 O kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.28. 100 Z kuru CBR deney sonuçları

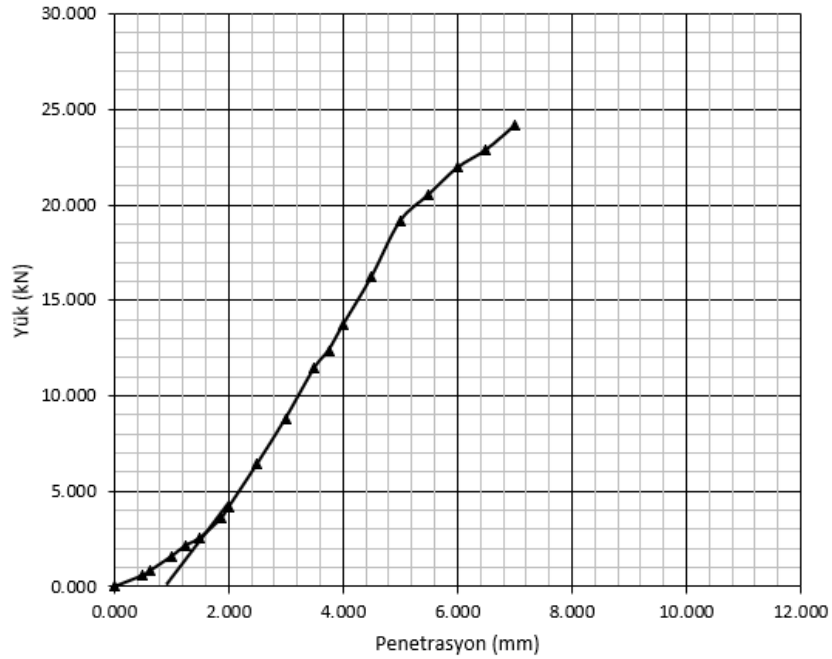
Numune Adı	100 Z			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.348			
0.625	0.436			
1.000	0.832			
1.250	1.206			
1.500	1.822			
1.875	3.032			
2.000	3.692			
2.500	6.095	13.000	13.240	98.187
3.000	9.017			
3.500	11.915			
3.750	13.351			
4.000	14.715			
4.500	17.355			
5.000	19.864	25.487	20.012	127.358
5.500	22.218			
6.000	24.577			
6.500	26.700			
7.000	28.819			
7.500	30.865			
8.000	33.010			
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.28. 100 Z kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.29. 75 KA 25 G kuru CBR deney sonuçları

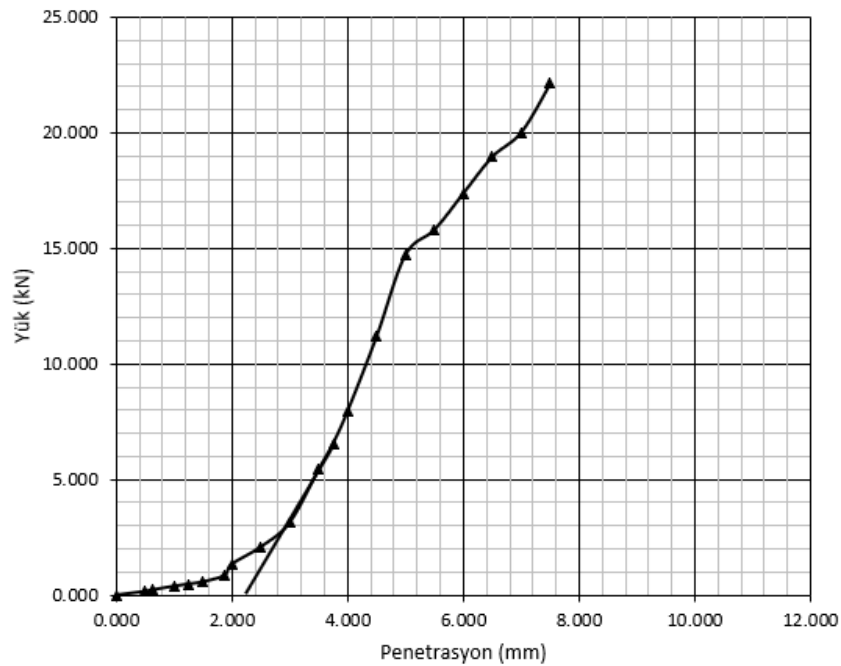
Numune Adı	75 KA 25 G			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.597			
0.625	0.831			
1.000	1.584			
1.250	2.161			
1.500	2.558			
1.875	3.593			
2.000	4.148			
2.500	6.428	11.458	13.240	86.541
3.000	8.823			
3.500	11.458			
3.750	12.387			
4.000	13.706			
4.500	16.231			
5.000	19.151	21.959	20.012	109.730
5.500	20.553			
6.000	21.959			
6.500	22.895			
7.000	24.159			
7.500				
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.29. 75 KA 25 G kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.30. 75 KA 25 O kuru CBR deney sonuçları

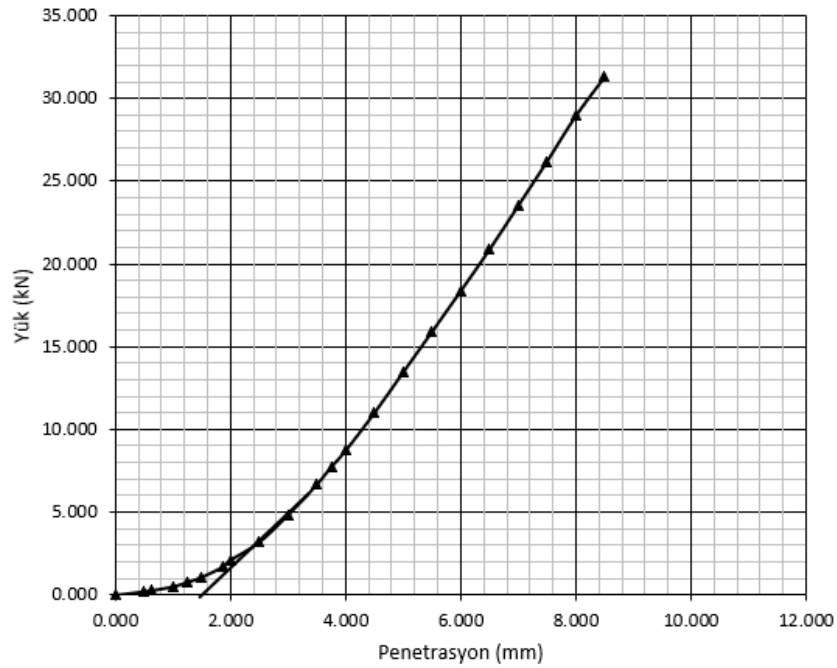
Numune Adı	75 KA 25 O			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.159			
0.625	0.224			
1.000	0.382			
1.250	0.478			
1.500	0.573			
1.875	0.850			
2.000	1.332			
2.500	2.082	10.550	13.240	79.683
3.000	3.134			
3.500	5.433			
3.750	6.565			
4.000	7.960			
4.500	11.180			
5.000	14.734	21.083	20.012	105.350
5.500	15.812			
6.000	17.393			
6.500	18.974			
7.000	20.029			
7.500	22.137			
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.30. 75 KA 25 O kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.31. 75 KA 25 Z kuru CBR deney sonuçları

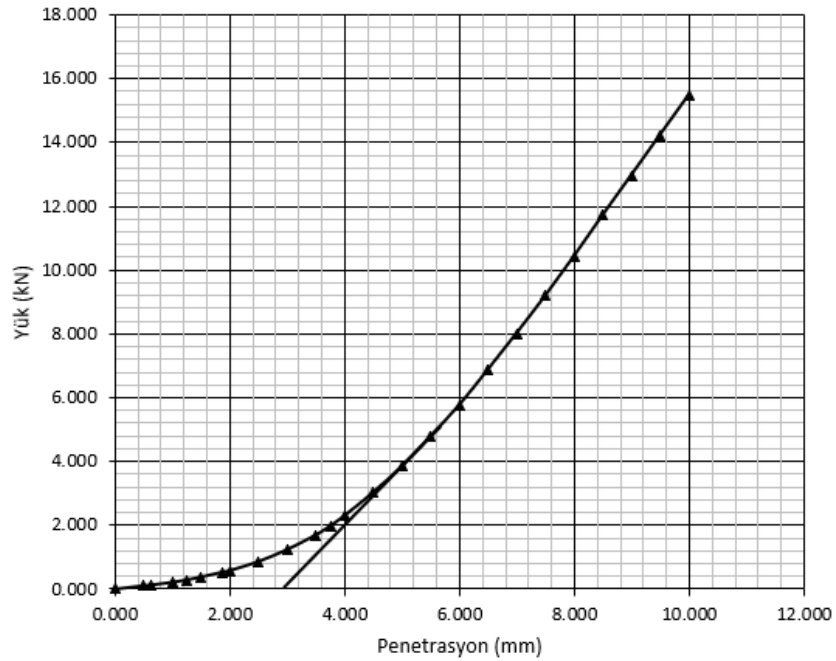
Numune Adı	75 KA 25 Z			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.209			
0.625	0.274			
1.000	0.504			
1.250	0.771			
1.500	1.079			
1.875	1.711			
2.000	2.106			
2.500	3.185	8.719	13.240	65.853
3.000	4.821			
3.500	6.671			
3.750	7.728			
4.000	8.719			
4.500	10.991			
5.000	13.453	20.872	20.012	104.299
5.500	15.895			
6.000	18.366			
6.500	20.872			
7.000	23.530			
7.500	26.203			
8.000	28.956			
8.500	31.297			
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.31. 75 KA 25 Z kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.32. 75 DA 25 G kuru CBR deney sonuçları

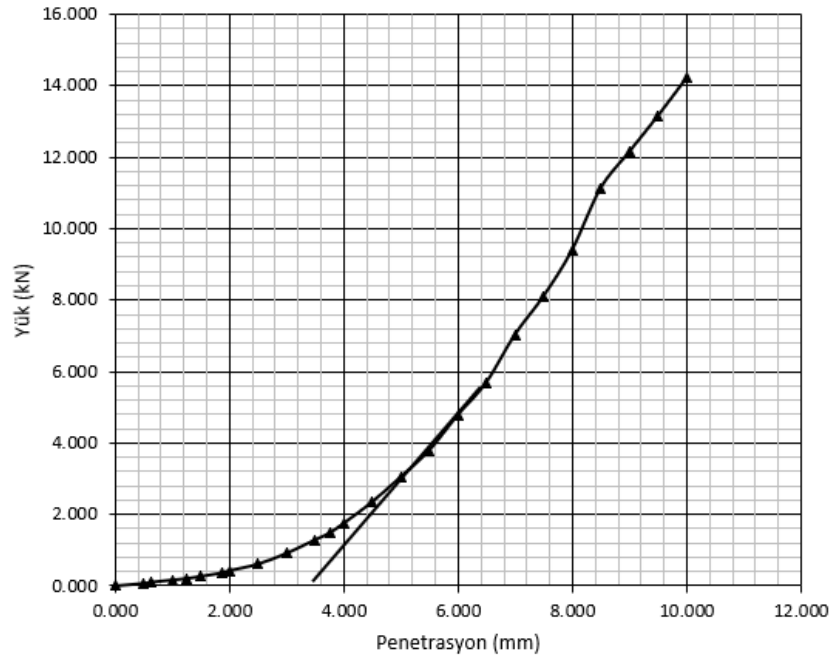
Numune Adı	75 DA 25 G			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.105			
0.625	0.127			
1.000	0.214			
1.250	0.287			
1.500	0.379			
1.875	0.531			
2.000	0.579			
2.500	0.862	4.791	13.240	36.186
3.000	1.236			
3.500	1.693			
3.750	1.975			
4.000	2.297			
4.500	3.028			
5.000	3.846	11.713	20.012	58.530
5.500	4.791			
6.000	5.761			
6.500	6.875			
7.000	8.015			
7.500	9.189			
8.000	10.425			
8.500	11.713			
9.000	12.966			
9.500	14.228			
10.000	15.480			



Şekil EK 3.32. 75 DA 25 G kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.33. 75 DA 25 O kuru CBR deney sonuçları

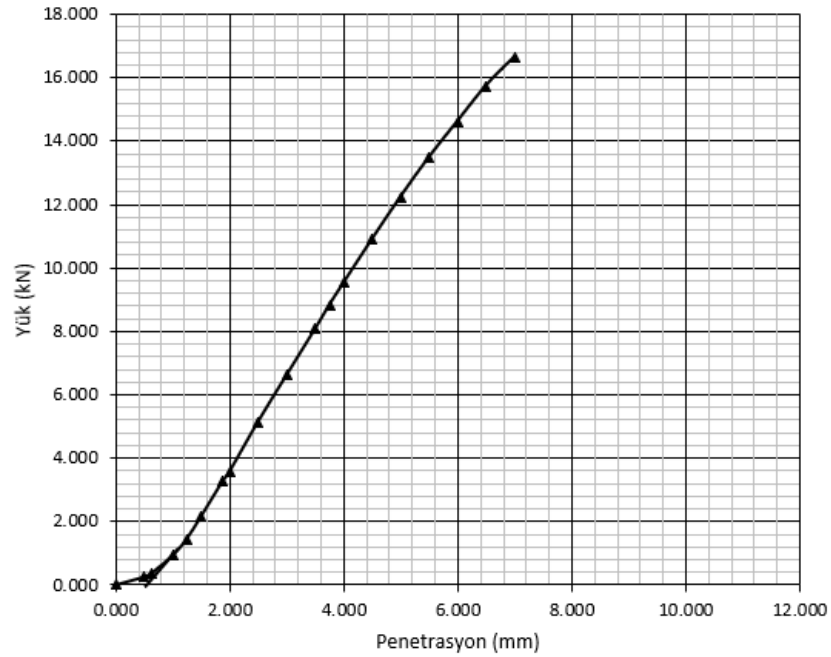
Numune Adı	75 DA 25 O			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.070			
0.625	0.101			
1.000	0.165			
1.250	0.205			
1.500	0.266			
1.875	0.366			
2.000	0.427			
2.500	0.609	4.786	13.240	36.148
3.000	0.910			
3.500	1.288			
3.750	1.476			
4.000	1.749			
4.500	2.350			
5.000	3.051	11.136	20.012	55.647
5.500	3.794			
6.000	4.786			
6.500	5.700			
7.000	7.037			
7.500	8.112			
8.000	9.403			
8.500	11.136			
9.000	12.155			
9.500	13.157			
10.000	14.219			



Şekil EK 3.33. 75 DA 25 O kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.34. 75 DA 25 Z kuru CBR deney sonuçları

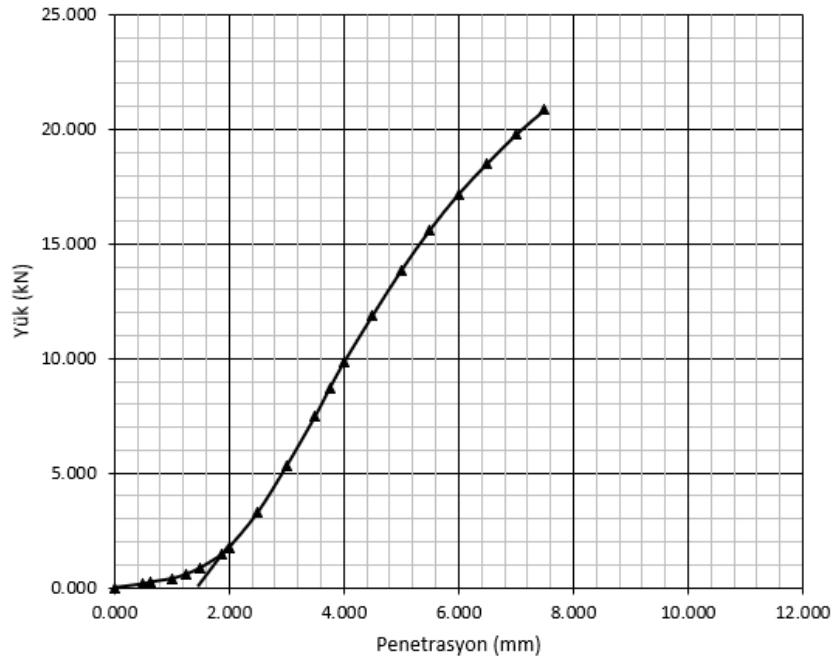
Numune Adı	75 DA 25 Z			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.255			
0.625	0.367			
1.000	0.927			
1.250	1.457			
1.500	2.160			
1.875	3.261			
2.000	3.576			
2.500	5.145	6.613	13.240	49.947
3.000	6.613			
3.500	8.069			
3.750	8.824			
4.000	9.526			
4.500	10.902			
5.000	12.237	13.490	20.012	67.410
5.500	13.490			
6.000	14.621			
6.500	15.742			
7.000	16.649			
7.500				
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.34. 75 DA 25 Z kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.35. 50 KA 50 G kuru CBR deney sonuçları

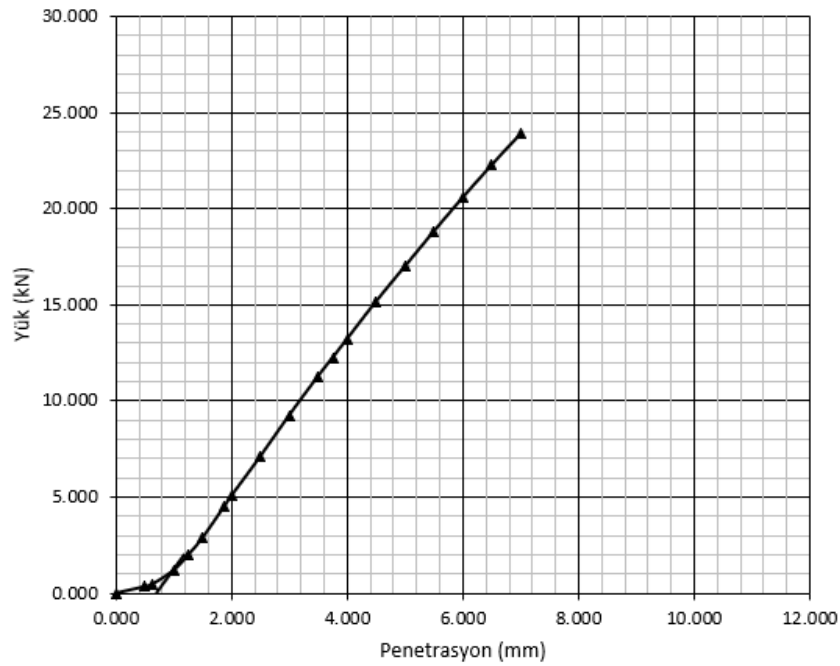
Numune Adı	50 KA 50 G			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.162			
0.625	0.239			
1.000	0.392			
1.250	0.580			
1.500	0.865			
1.875	1.442			
2.000	1.740			
2.500	3.277	9.819	13.240	74.162
3.000	5.290			
3.500	7.477			
3.750	8.680			
4.000	9.819			
4.500	11.877			
5.000	13.846	18.531	20.012	92.600
5.500	15.623			
6.000	17.190			
6.500	18.531			
7.000	19.785			
7.500	20.871			
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.35. 50 KA 50 G kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.36. 50 KA 50 O kuru CBR deney sonuçları

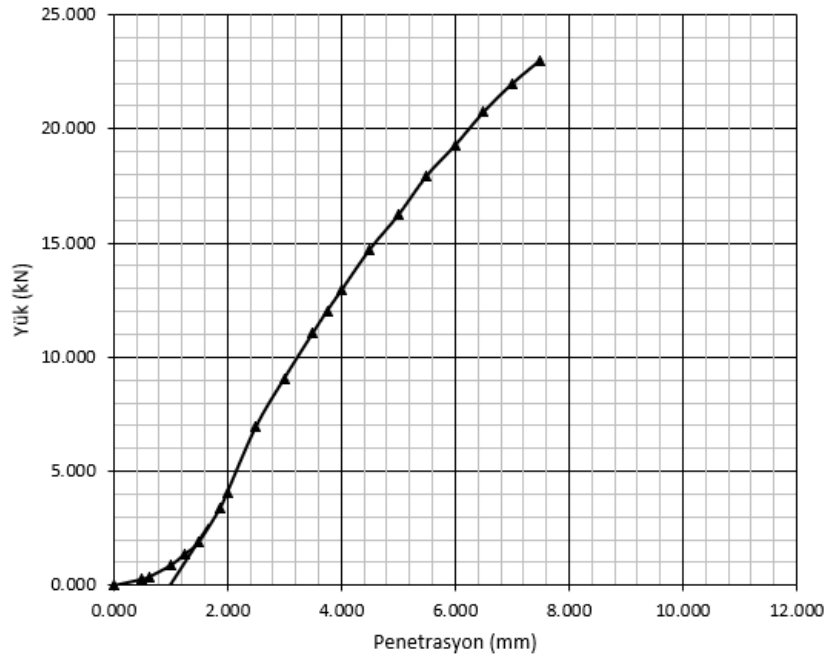
Numune Adı	50 KA 50 O			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.339			
0.625	0.450			
1.000	1.183			
1.250	1.969			
1.500	2.873			
1.875	4.498			
2.000	5.056			
2.500	7.110	10.900	13.240	82.326
3.000	9.255			
3.500	11.292			
3.750	12.250			
4.000	13.225			
4.500	15.174			
5.000	17.003	20.138	20.012	100.630
5.500	18.828			
6.000	20.595			
6.500	22.283			
7.000	23.904			
7.500				
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.36. 50 KA 50 O kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.37. 50 KA 50 Z kuru CBR deney sonuçları

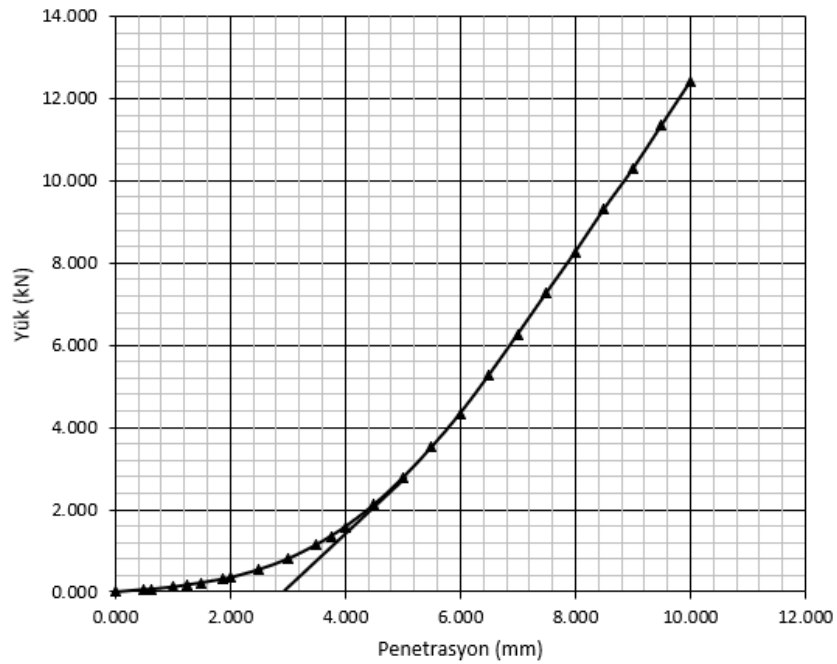
Numune Adı	50 KA 50 Z			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.274			
0.625	0.378			
1.000	0.877			
1.250	1.367			
1.500	1.914			
1.875	3.390			
2.000	4.081			
2.500	6.944	11.058	13.240	83.520
3.000	9.072			
3.500	11.058			
3.750	12.022			
4.000	12.922			
4.500	14.719			
5.000	16.221	19.286	20.012	96.370
5.500	17.947			
6.000	19.286			
6.500	20.743			
7.000	21.978			
7.500	23.019			
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.37. 50 KA 50 Z kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.38. 50 DA 50 G kuru CBR deney sonuçları

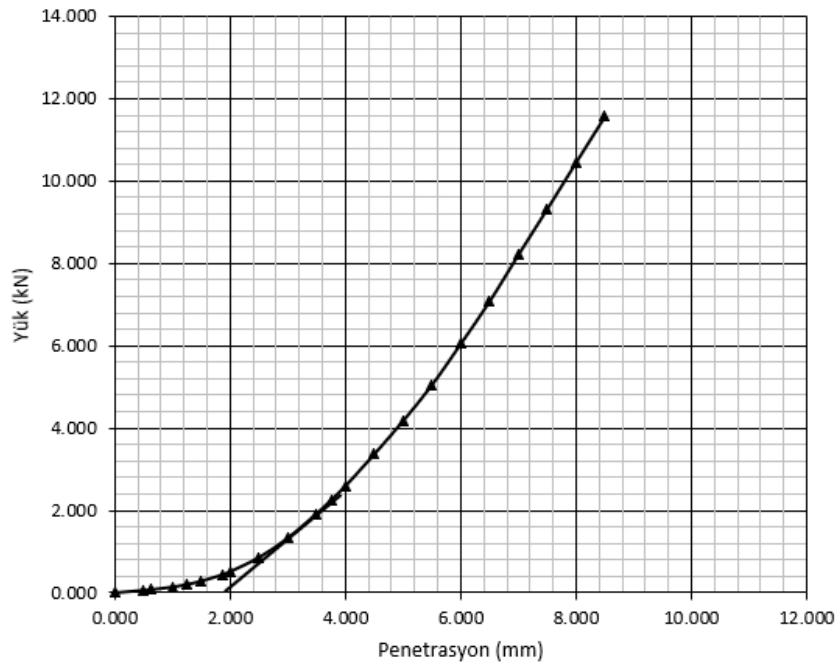
Numune Adı	50 DA 50 G			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.061			
0.625	0.070			
1.000	0.122			
1.250	0.174			
1.500	0.226			
1.875	0.313			
2.000	0.348			
2.500	0.545	3.516	13.240	26.556
3.000	0.801			
3.500	1.149			
3.750	1.357			
4.000	1.584			
4.500	2.120			
5.000	2.767	8.263	20.012	41.291
5.500	3.516			
6.000	4.339			
6.500	5.273			
7.000	6.265			
7.500	7.275			
8.000	8.263			
8.500	9.311			
9.000	10.282			
9.500	11.347			
10.000	12.409			



Şekil EK 3.38. 50 DA 50 G kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.39. 50 DA 50 O kuru CBR deney sonuçları

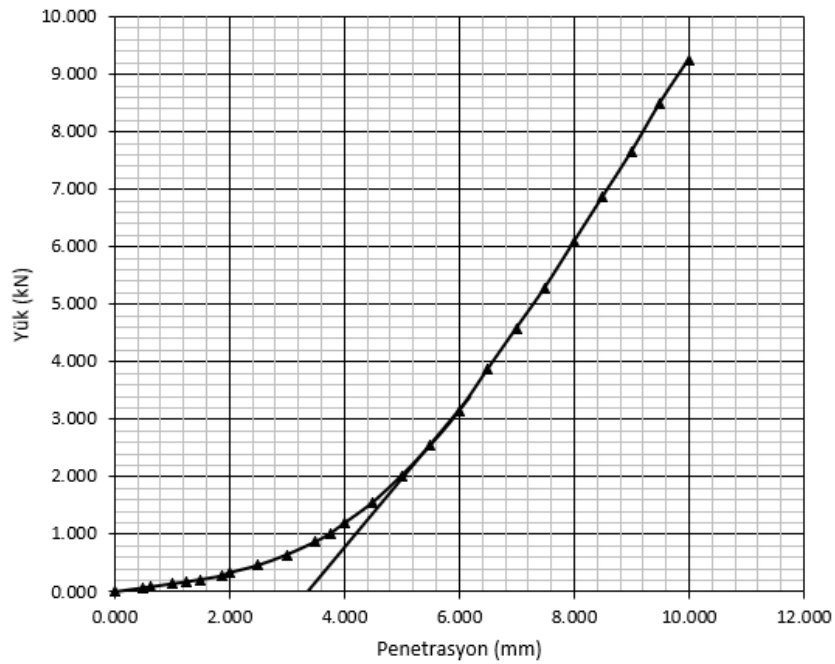
Numune Adı	50 DA 50 O			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.061			
0.625	0.076			
1.000	0.140			
1.250	0.203			
1.500	0.283			
1.875	0.443			
2.000	0.513			
2.500	0.856	3.367	13.240	25.431
3.000	1.327			
3.500	1.923			
3.750	2.248			
4.000	2.593			
4.500	3.367			
5.000	4.175	8.220	20.012	41.074
5.500	5.048			
6.000	6.051			
6.500	7.082			
7.000	8.220			
7.500	9.332			
8.000	10.464			
8.500	11.583			
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.39. 50 DA 50 O kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.40. 50 DA 50 Z kuru CBR deney sonuçları

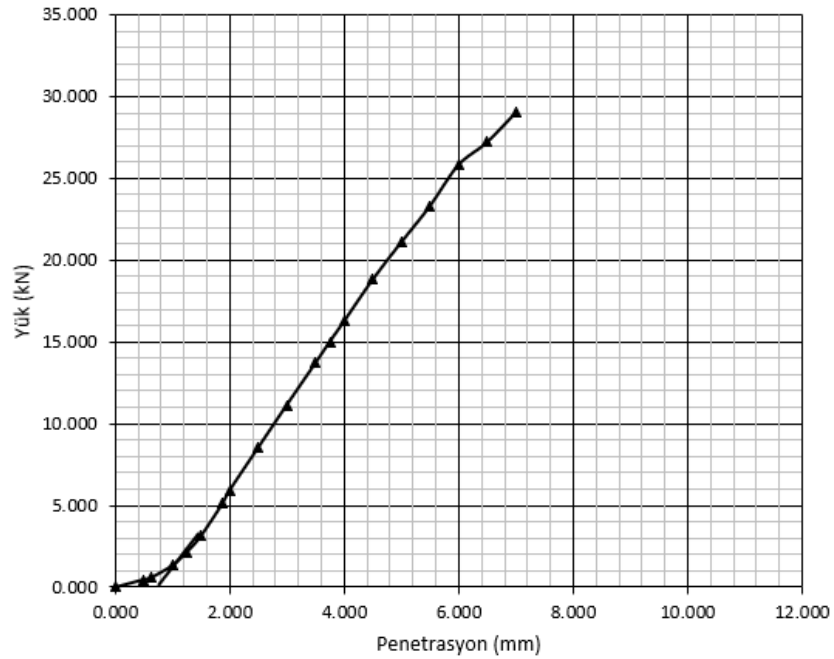
Numune Adı	50 DA 50 Z			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.070			
0.625	0.087			
1.000	0.139			
1.250	0.174			
1.500	0.214			
1.875	0.278			
2.000	0.331			
2.500	0.461	3.138	13.240	23.701
3.000	0.644			
3.500	0.870			
3.750	1.008			
4.000	1.188			
4.500	1.554			
5.000	2.019	6.863	20.012	34.292
5.500	2.541			
6.000	3.138			
6.500	3.869			
7.000	4.583			
7.500	5.291			
8.000	6.079			
8.500	6.863			
9.000	7.640			
9.500	8.493			
10.000	9.250			



Şekil EK 3.40. 50 DA 50 Z kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.41. 25 KA 75 G kuru CBR deney sonuçları

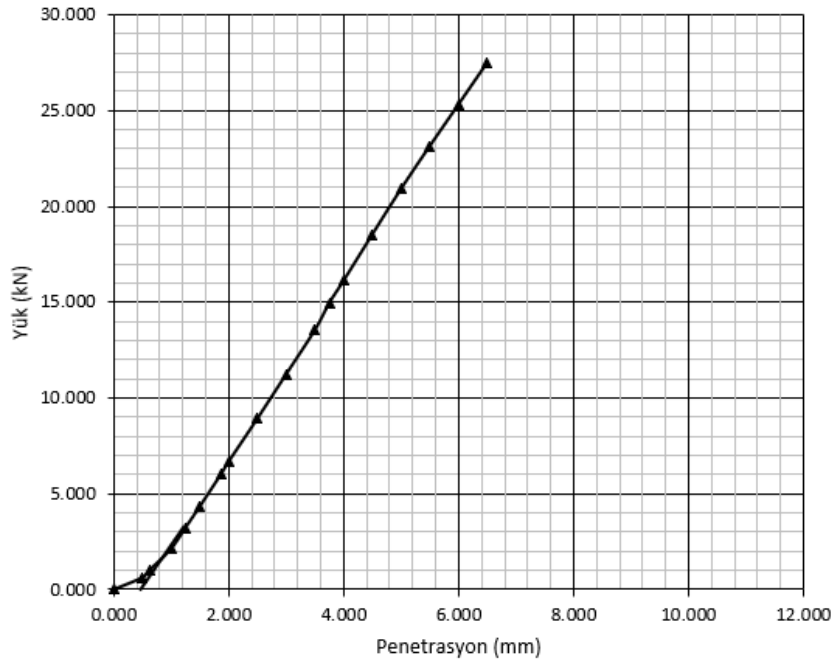
Numune Adı	25 KA 75 G			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.469			
0.625	0.577			
1.000	1.329			
1.250	2.130			
1.500	3.127			
1.875	5.103			
2.000	5.908			
2.500	8.535	13.100	13.240	98.943
3.000	11.146			
3.500	13.708			
3.750	15.011			
4.000	16.262			
4.500	18.815			
5.000	21.106	24.600	20.012	122.926
5.500	23.310			
6.000	25.842			
6.500	27.231			
7.000	29.050			
7.500				
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.41. 25 KA 75 G kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.42. 25 KA 75 O kuru CBR deney sonuçları

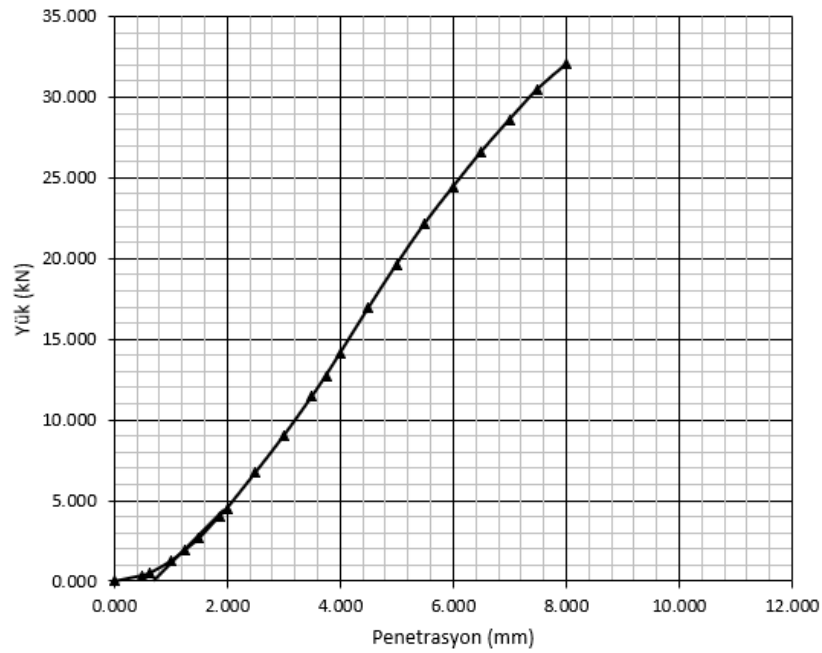
Numune Adı	25 KA 75 O			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.626			
0.625	1.008			
1.000	2.123			
1.250	3.220			
1.500	4.333			
1.875	6.048			
2.000	6.666			
2.500	8.916	11.231	13.240	84.826
3.000	11.231			
3.500	13.540			
3.750	14.950			
4.000	16.125			
4.500	18.540			
5.000	20.925	23.161	20.012	115.735
5.500	23.161			
6.000	25.340			
6.500	27.524			
7.000				
7.500				
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.42. 25 KA 75 O kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.43. 25 KA 75 Z kuru CBR deney sonuçları

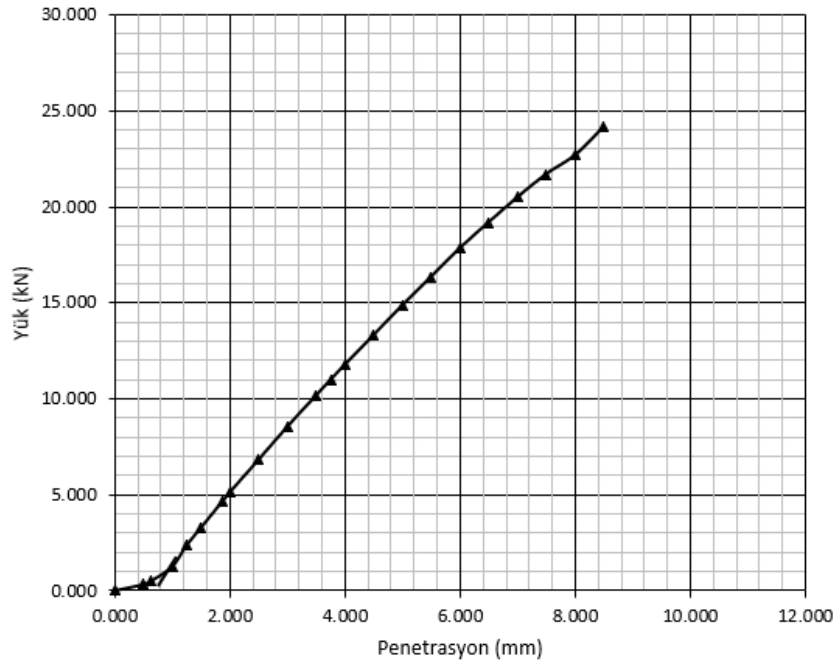
Numune Adı	25 KA 75 Z			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.365			
0.625	0.498			
1.000	1.237			
1.250	1.933			
1.500	2.652			
1.875	4.062			
2.000	4.521			
2.500	6.720	10.700	13.240	80.816
3.000	8.990			
3.500	11.441			
3.750	12.743			
4.000	14.126			
4.500	16.925			
5.000	19.629	23.568	20.012	117.770
5.500	22.185			
6.000	24.441			
6.500	26.624			
7.000	28.611			
7.500	30.515			
8.000	32.040			
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.43. 25 KA 75 Z kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.44. 25 DA 75 G kuru CBR deney sonuçları

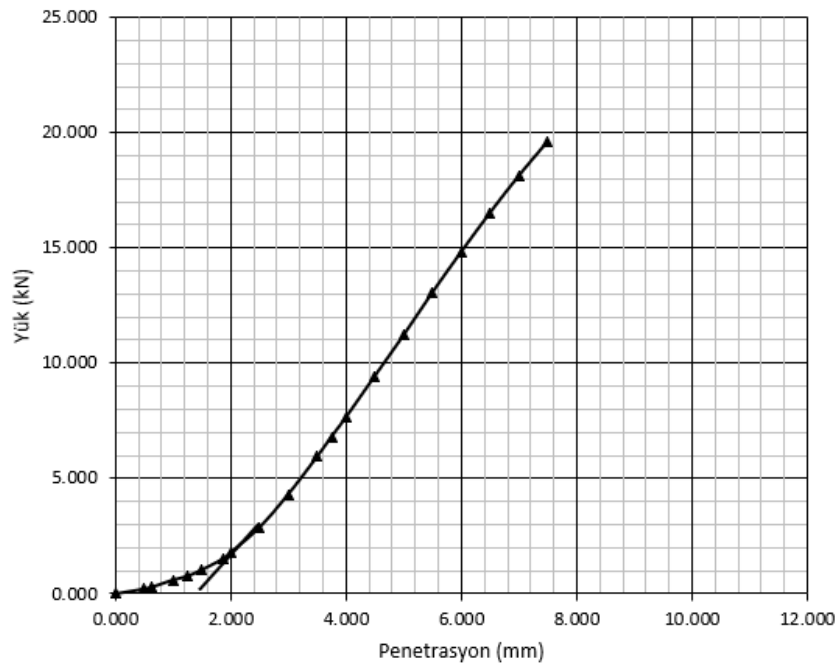
Numune Adı	25 DA 75 G			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.324			
0.625	0.491			
1.000	1.245			
1.250	2.350			
1.500	3.276			
1.875	4.657			
2.000	5.119			
2.500	6.816	9.550	13.240	72.130
3.000	8.538			
3.500	10.168			
3.750	10.980			
4.000	11.771			
4.500	13.319			
5.000	14.868	17.206	20.012	85.980
5.500	16.356			
6.000	17.850			
6.500	19.192			
7.000	20.498			
7.500	21.702			
8.000	22.688			
8.500	24.186			
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.44. 25 DA 75 G kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.45. 25 DA 75 O kuru CBR deney sonuçları

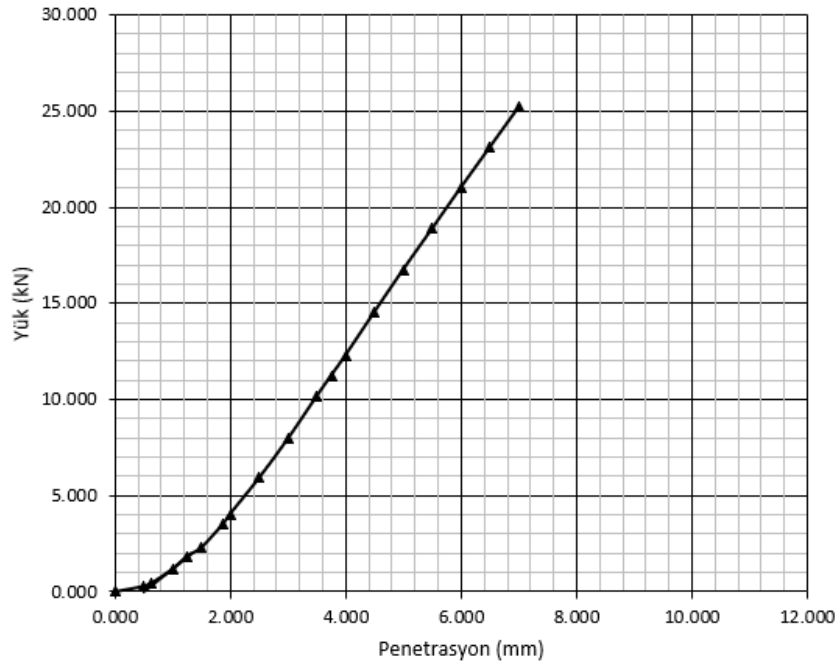
Numune Adı	25 DA 75 O			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.208			
0.625	0.281			
1.000	0.596			
1.250	0.761			
1.500	1.038			
1.875	1.524			
2.000	1.789			
2.500	2.870	7.652	13.240	57.795
3.000	4.312			
3.500	5.946			
3.750	6.813			
4.000	7.652			
4.500	9.439			
5.000	11.213	16.526	20.012	82.580
5.500	13.069			
6.000	14.828			
6.500	16.526			
7.000	18.130			
7.500	19.614			
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.45. 25 DA 75 O kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

Çizelge EK 3.46. 25 DA 75 Z kuru CBR deney sonuçları

Numune Adı	25 DA 75 Z			
	Penetrasyon (mm)	Yük (kN)	Düzeltilmiş Yük (kN)	Standart Yük (kN)
0.000	0.000			
0.500	0.287			
0.625	0.435			
1.000	1.166			
1.250	1.850			
1.500	2.303			
1.875	3.521			
2.000	4.046			
2.500	5.914	7.954	13.240	60.076
3.000	7.954			
3.500	10.169			
3.750	11.243			
4.000	12.305			
4.500	14.550			
5.000	16.760	18.883	20.012	94.359
5.500	18.883			
6.000	21.029			
6.500	23.118			
7.000	25.201			
7.500				
8.000				
8.500				
9.000				
9.500				
10.000				



Şekil EK 3.46. 25 DA 75 Z kuru CBR yük-penetrasyon eğrisi

EK-4 Ayrıntılı Geçirimsizlik Deney Sonuçları

Çizelge EK 4.1. 100 KA geçirimsizlik deney sonuçları

Numune Adı	100 KA								
Deney No	Manometreler		h (cm)	L (cm)	Q (cm ³)	t (s)	Q/At	h/L	k (m/s)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)							
1	88	27	61	15	310	300	0.0057	4.0667	1.4E-05
2	88	28	60	15	625	600	0.0057	4	1.435E-05
3	88	29.5	58.5	15	297	300	0.0055	3.9	1.399E-05
Ortalama k (m/s)									1.411E-05

Çizelge EK 4.2. 100 DA geçirimsizlik deney sonuçları

Numune Adı	100 DA						
Deney No	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	L (cm)	t (s)	ln (H ₁ /H ₂)	k (m/s)	
1	88	25.68	22	300	1.2316243	6.25E-07	
2	82	15.7	22	600	1.6530585	4.2E-07	
3	95	30	22	300	1.1526795	5.85E-07	
Ortalama k (m/s)						5.44E-07	

Çizelge EK 4.3. 100 G geçirimsizlik deney sonuçları

Numune Adı	100 G								
Deney No	Manometreler		h (cm)	L (cm)	Q (cm ³)	t (s)	Q/At	h/L	k (m/s)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)							
1	85	12	73	15	235	300	0.0043	4.8667	8.87E-06
2	84	13	71	15	493	600	0.0045	4.7333	9.566E-06
3	87	11.5	75.5	15	242	300	0.0044	5.0333	8.832E-06
Ortalama k (m/s)									9.09E-06

Çizelge EK 4.4. 100 O geçirimsizlik deney sonuçları

Numune Adı	100 O								
Deney No	Manometreler		h (cm)	L (cm)	Q (cm ³)	t (s)	Q/At	h/L	k (m/s)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)							
1	86	21.7	64.3	15	239	300	0.0044	4.2867	1.024E-05
2	85	22.5	62.5	15	485	600	0.0045	4.1667	1.069E-05
3	84.7	20.8	63.9	15	244	300	0.0045	4.26	1.052E-05
Ortalama k (m/s)									1.048E-05

Çizelge EK 4.5. 100 Z geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	100 Z								
Deney No	Manometreler		h (cm)	L (cm)	Q (cm ³)	t (s)	Q/At	h/L	k (m/s)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)							
1	88	20	68	15	240	300	0.0044	4.5333	9.725E-06
2	88	18	70	15	550	600	0.0051	4.6667	1.082E-05
3	88	21	67	15	255	300	0.0047	4.4667	1.049E-05
Ortalama k (m/s)									1.035E-05

Çizelge EK 4.6. 75 KA 25 G geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	75 KA 25 G								
Deney No	Manometreler		h (cm)	L (cm)	Q (cm ³)	t (s)	Q/At	h/L	k (m/s)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)							
1	85	23.5	61.5	15	302	300	0.0055	4.1	1.353E-05
2	87	24.7	62.3	15	615	600	0.0056	4.1533	1.36E-05
3	84.5	25.2	59.3	15	299	300	0.0055	3.9533	1.389E-05
Ortalama k (m/s)									1.367E-05

Çizelge EK 4.7. 75 KA 25 O geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	75 KA 25 O								
Deney No	Manometreler		h (cm)	L (cm)	Q (cm ³)	t (s)	Q/At	h/L	k (m/s)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)							
1	82	22	60	15	297	300	0.0055	4	1.364E-05
2	81	21.7	59.3	15	588	600	0.0054	3.9533	1.366E-05
3	81.7	20.9	60.8	15	292	300	0.0054	4.0533	1.323E-05
Ortalama k (m/s)									1.351E-05

Çizelge EK 4.8. 75 KA 25 Z geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	75 KA 25 Z								
Deney No	Manometreler		h (cm)	L (cm)	Q (cm ³)	t (s)	Q/At	h/L	k (m/s)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)							
1	83	22	61	15	310	300	0.0057	4.0667	1.4E-05
2	82.7	21.7	61	15	625	600	0.0057	4.0667	1.412E-05
3	83.8	20.9	62.9	15	305	300	0.0056	4.1933	1.336E-05
Ortalama k (m/s)									1.383E-05

Çizelge EK 4.9. 75 DA 25 G geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	75 DA 25 G					
Deney No	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	L (cm)	t (s)	ln (H ₁ /H ₂)	k (m/s)
1	95	25.9	22	300	1.2996339	6.6E-07
2	77	7.4	22	600	2.3423254	5.95E-07
3	75	18.8	22	300	1.3836312	7.03E-07
Ortalama k (m/s)						6.52E-07

Çizelge EK 4.10. 75 DA 25 O geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	75 DA 25 O					
Deney No	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	L (cm)	t (s)	ln (H ₁ /H ₂)	k (m/s)
1	98	28.4	22	300	1.2385783	6.29E-07
2	87	8.9	22	600	2.2798568	5.79E-07
3	90	22.5	22	300	1.3862944	7.04E-07
Ortalama k (m/s)						6.37E-07

Çizelge EK 4.11. 75 DA 25 Z geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	75 DA 25 Z					
Deney No	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	L (cm)	t (s)	ln (H ₁ /H ₂)	k (m/s)
1	87	25.7	22	300	1.2194171	6.19E-07
2	99	7.8	22	600	2.5409961	6.45E-07
3	85	19.8	22	300	1.4569693	7.4E-07
Ortalama k (m/s)						6.68E-07

Çizelge EK 4.12. 50 KA 50 G geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	50 KA 50 G								
Deney No	Manometreler		h (cm)	L (cm)	Q (cm ³)	t (s)	Q/At	h/L	k (m/s)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)							
1	88	19.8	68.2	15	322	300	0.0059	4.5467	1.301E-05
2	87.2	17.9	69.3	15	638	600	0.0059	4.62	1.268E-05
3	87.5	18.3	69.2	15	314	300	0.0058	4.6133	1.25E-05
Ortalama k (m/s)									1.273E-05

Çizelge EK 4.13. 50 KA 50 O geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	50 KA 50 O								
Deney No	Manometreler		h (cm)	L (cm)	Q (cm ³)	t (s)	Q/At	h/L	k (m/s)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)							
1	85.9	23	62.9	15	299	300	0.0055	4.1933	1.31E-05
2	86.7	22.9	63.8	15	600	600	0.0055	4.2533	1.296E-05
3	85	21.5	63.5	15	304	300	0.0056	4.2333	1.319E-05
Ortalama k (m/s)									1.308E-05

Çizelge EK 4.14. 50 KA 50 Z geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	50 KA 50 Z								
Deney No	Manometreler		h (cm)	L (cm)	Q (cm ³)	t (s)	Q/At	h/L	k (m/s)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)							
1	88	18.8	69.2	15	320	300	0.0059	4.6133	1.274E-05
2	87.5	19.5	68	15	634	600	0.0058	4.5333	1.285E-05
3	87.2	17.5	69.7	15	301	300	0.0055	4.6467	1.19E-05
Ortalama k (m/s)									1.25E-05

Çizelge EK 4.15. 50 DA 50 G geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	50 DA 50 G					
Deney No	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	L (cm)	t (s)	ln (H ₁ /H ₂)	k (m/s)
1	87	22.5	22	250	1.3523928	8.24E-07
2	97	8.1	22	450	2.4828469	8.41E-07
3	79	20.8	22	250	1.3344949	8.13E-07
Ortalama k (m/s)						8.26E-07

Çizelge EK 4.16. 50 DA 50 O geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	50 DA 50 O					
Deney No	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	L (cm)	t (s)	ln (H ₁ /H ₂)	k (m/s)
1	66	13.7	22	250	1.5722589	9.58E-07
2	88	6.5	22	450	2.6055346	8.82E-07
3	60	14.8	22	250	1.3997174	8.53E-07
Ortalama k (m/s)						8.98E-07

Çizelge EK 4.17. 50 DA 50 Z geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	50 DA 50 Z					
D deney No	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	L (cm)	t (s)	ln (H ₁ /H ₂)	k (m/s)
1	85.5	18.8	22	250	1.5146595	9.23E-07
2	98	7.6	22	450	2.5568192	8.66E-07
3	95	19.4	22	250	1.5886038	9.68E-07
Ortalama k (m/s)						9.19E-07

Çizelge EK 4.18. 25 KA 75 G geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	25 KA 75 G								
D deney No	Manometreler		h (cm)	L (cm)	Q (cm ³)	t (s)	Q/At	h/L	k (m/s)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)							
1	87.5	19	68.5	15	291	300	0.0053	4.5667	1.171E-05
2	86	20	66	15	580	600	0.0053	4.4	1.211E-05
3	86.8	19.3	67.5	15	279	300	0.0051	4.5	1.139E-05
Ortalama k (m/s)									1.173E-05

Çizelge EK 4.19. 25 KA 75 O geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	25 KA 75 O								
D deney No	Manometreler		h (cm)	L (cm)	Q (cm ³)	t (s)	Q/At	h/L	k (m/s)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)							
1	84	14.9	69.1	15	285	300	0.0052	4.6067	1.136E-05
2	83.5	15.7	67.8	15	570	600	0.0052	4.52	1.158E-05
3	84.2	14.5	69.7	15	275	300	0.0051	4.6467	1.087E-05
Ortalama k (m/s)									1.127E-05

Çizelge EK 4.20. 25 KA 75 Z geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	25 KA 75 Z								
D deney No	Manometreler		h (cm)	L (cm)	Q (cm ³)	t (s)	Q/At	h/L	k (m/s)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)							
1	85	16.7	68.3	15	290	300	0.0053	4.5533	1.17E-05
2	84.7	14.9	69.8	15	592	600	0.0054	4.6533	1.169E-05
3	86.2	15.4	70.8	15	284	300	0.0052	4.72	1.105E-05
Ortalama k (m/s)									1.148E-05

Çizelge EK 4.21. 25 DA 75 G geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	25 DA 75 G								
Deney No	Manometreler		h (cm)	L (cm)	Q (cm ³)	t (s)	Q/At	h/L	k (m/s)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)							
1	87.5	10.5	77	15	100	300	0.0018	5.1333	3.579E-06
2	86	10.8	75.2	15	212	600	0.0019	5.0133	3.884E-06
3	87	9.7	77.3	15	95	300	0.0017	5.1533	3.386E-06
Ortalama k (m/s)									3.616E-06

Çizelge EK 4.22. 25 DA 75 O geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	25 DA 75 O								
Deney No	Manometreler		h (cm)	L (cm)	Q (cm ³)	t (s)	Q/At	h/L	k (m/s)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)							
1	88	12	76	15	91	300	0.0017	5.0667	3.299E-06
2	87.8	12.5	75.3	15	197	600	0.0018	5.02	3.604E-06
3	88	11.9	76.1	15	99	300	0.0018	5.0733	3.585E-06
Ortalama k (m/s)									3.496E-06

Çizelge EK 4.23. 25 DA 75 Z geçirimlilik deney sonuçları

Numune Adı	25 DA 75 Z								
Deney No	Manometreler		h (cm)	L (cm)	Q (cm ³)	t (s)	Q/At	h/L	k (m/s)
	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)							
1	84.5	14	70.5	15	120	300	0.0022	4.7	4.69E-06
2	85	13	72	15	242	600	0.0022	4.8	4.631E-06
3	84.7	13.5	71.2	15	126	300	0.0023	4.7467	4.876E-06
Ortalama k (m/s)									4.732E-06

EK-5 Ayrıntılı Esneklik Modülü Deney Sonuçları**Çizelge EK 5.1.** 100 KA esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
22.06	19.66	85.84	83876.00
22.10	38.66	104.96	107750.00
22.01	57.20	123.23	126290.00
35.96	32.60	140.48	150710.00
35.67	61.55	168.56	222410.00
35.87	86.88	194.49	226330.00
70.60	60.10	271.90	356580.00
70.40	113.40	324.60	381360.00
70.33	185.50	396.49	422590.00
105.00	59.81	374.81	904570.00
104.90	83.78	398.48	846750.00
105.00	185.10	500.10	575600.00
139.20	81.96	499.56	706480.00
139.50	113.80	532.30	649010.00
139.30	252.90	670.80	763640.00

Çizelge EK 5.2. 100 DA esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
23.02	20.12	89.18	311970.00
23.32	38.61	108.57	317590.00
23.37	57.11	127.22	336970.00
37.07	32.58	143.79	353210.00
36.90	62.03	172.73	344940.00
36.73	87.16	197.35	324030.00
71.93	61.49	277.28	448440.00
71.61	113.3	328.13	464340.00
71.78	183.2	398.54	425560.00
106.30	60.92	379.82	982430.00
106.40	86.21	405.41	556740.00
106.70	182.8	502.90	478450.00
141.10	85.89	509.19	587450.00
141.00	112.4	535.40	577860.00
141.10	252.9	676.20	598540.00

Çizelge EK 5.3. 100 G esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
21.21	19.56	83.19	116260.00
21.27	38.24	102.05	143120.00
21.21	57.39	121.02	160330.00
34.95	31.85	136.70	183340.00
35.04	63.09	168.21	171900.00
35.00	87.70	192.70	198610.00
69.92	61.93	271.69	267040.00
69.92	113.60	323.36	357400.00
69.88	184.40	394.04	310050.00
104.60	61.63	375.43	352610.00
104.70	85.36	399.46	417990.00
104.70	183.10	497.20	373980.00
139.10	86.06	503.36	437210.00
139.10	114.40	531.70	406330.00
139.20	253.00	670.60	525510.00

Çizelge EK 5.4. 100 O esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
23.45	19.45	89.80	140550.00
23.73	39.10	110.29	150370.00
23.32	57.42	127.38	167770.00
37.29	32.47	144.34	193010.00
37.26	62.61	174.39	253260.00
37.44	87.85	200.17	259030.00
72.15	61.55	278.00	336810.00
72.06	113.60	329.78	431600.00
72.04	184.10	400.22	390510.00
106.80	61.48	381.88	453070.00
106.70	86.63	406.73	487980.00
106.90	184.30	505.00	478530.00
141.50	84.43	508.93	517860.00
141.60	114.40	539.20	609500.00
141.30	254.10	678.00	728470.00

Çizelge EK 5.5. 100 Z esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
22.51	19.29	86.82	56280.00
22.69	39.00	107.07	65129.00
22.50	57.76	125.26	73840.00
36.41	32.30	141.53	88874.00
36.52	61.89	171.45	113400.00
36.42	87.94	197.20	131520.00
71.24	61.10	274.82	247380.00
71.16	116.40	329.88	300270.00
71.21	186.50	400.13	322470.00
105.80	60.48	377.88	395110.00
105.80	85.10	402.50	400890.00
106.10	185.20	503.50	373800.00
140.40	83.75	504.95	436240.00
140.50	115.50	537.00	457590.00
140.60	253.10	674.90	544660.00

Çizelge EK 5.6. 75 KA 25 G esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
21.98	19.49	85.43	175290.00
22.01	38.41	104.44	243480.00
21.62	54.52	119.38	315780.00
35.86	31.82	139.40	302620.00
35.61	59.00	165.83	390260.00
35.61	84.82	191.65	349500.00
70.61	59.31	271.14	398220.00
70.45	114.70	326.05	419400.00
70.82	185.80	398.26	440530.00
105.10	58.88	374.18	488740.00
105.30	82.94	398.84	510570.00
105.20	186.00	501.60	533400.00
139.80	82.86	502.26	521470.00
139.60	115.00	533.80	488970.00
139.50	252.40	670.90	622010.00

Çizelge EK 5.7. 75 KA 25 O esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
22.15	19.52	85.97	140320.00
22.27	38.34	105.15	203230.00
22.40	54.10	121.30	286390.00
35.99	32.17	140.14	312260.00
35.97	59.17	167.08	373840.00
36.21	84.43	193.06	291790.00
71.19	58.64	272.21	419710.00
70.99	115.00	327.97	327420.00
71.11	186.00	399.33	350910.00
105.40	57.43	373.63	341790.00
105.60	83.09	399.89	354580.00
105.50	186.00	502.50	384480.00
140.00	82.17	502.17	444730.00
140.30	115.30	536.20	364960.00
140.30	254.80	675.70	578460.00

Çizelge EK 5.8. 75 KA 25 Z esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
23.69	19.04	90.11	117090.00
23.54	38.86	109.48	125460.00
23.34	56.63	126.65	153030.00
37.14	32.66	144.08	203400.00
37.47	61.47	173.88	235680.00
37.15	86.65	198.10	232830.00
71.99	61.48	277.45	378230.00
71.97	115.20	331.11	369990.00
71.94	185.60	401.42	388460.00
106.90	60.90	381.60	359230.00
106.50	84.53	404.03	382600.00
106.60	185.50	505.30	449100.00
141.10	84.21	507.51	581080.00
141.20	114.20	537.80	662290.00
141.20	253.40	677.00	585150.00

Çizelge EK 5.9. 50 KA 50 G esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
21.79	19.03	84.40	122770.00
22.01	39.00	105.03	162840.00
21.84	56.13	121.65	169520.00
35.81	32.50	139.93	201540.00
35.86	60.79	168.37	201900.00
35.84	85.74	193.26	217160.00
70.65	60.29	272.24	314850.00
70.58	116.60	328.34	375720.00
70.80	187.20	399.60	359430.00
105.30	59.55	375.45	385180.00
105.30	84.75	400.65	369900.00
105.30	186.50	502.40	426840.00
140.00	83.45	503.45	708250.00
139.90	116.40	536.10	747470.00
139.90	253.60	673.30	545760.00

Çizelge EK 5.10. 50 KA 50 O esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
21.02	19.30	82.36	158890.00
20.96	38.61	101.49	142230.00
21.19	56.46	120.03	161630.00
34.55	32.18	135.83	175330.00
34.56	61.63	165.31	233460.00
34.48	86.33	189.77	281350.00
67.96	60.60	264.48	497470.00
68.06	115.20	319.38	451800.00
67.97	186.20	390.11	436950.00
101.00	59.69	362.69	400710.00
101.00	84.68	387.68	471360.00
101.00	186.20	489.20	531160.00
134.40	85.54	488.74	812480.00
134.40	115.10	518.30	645200.00
134.40	254.40	657.60	718580.00

Çizelge EK 5.11. 50 KA 50 Z esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
20.60	19.55	81.35	98755.00
20.97	39.07	101.98	128640.00
20.86	57.10	119.68	162230.00
34.46	32.51	135.89	175350.00
34.52	61.94	165.50	207720.00
34.92	86.87	191.63	206730.00
69.60	61.59	270.39	283930.00
69.52	113.90	322.46	376910.00
69.87	184.50	394.11	423030.00
104.30	61.37	374.27	744930.00
104.30	85.31	398.21	764290.00
104.20	184.70	497.30	468950.00
138.70	83.59	499.69	403300.00
139.00	114.80	531.80	434590.00
138.70	253.90	670.00	706510.00

Çizelge EK 5.12. 25 KA 75 G esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
21.31	19.50	83.43	197600.00
21.12	38.55	101.91	194480.00
21.05	54.90	118.05	216630.00
35.34	32.25	138.27	238710.00
35.16	59.71	165.19	269920.00
35.07	84.71	189.92	247760.00
70.17	58.81	269.32	308170.00
70.02	115.00	325.06	382280.00
69.84	185.50	395.02	403620.00
104.70	59.25	373.35	379140.00
104.60	82.70	396.50	429120.00
104.70	185.40	499.50	499190.00
139.20	82.06	499.66	567250.00
139.20	114.80	532.40	575280.00
139.20	252.40	670.00	682250.00

Çizelge EK 5.13. 25 KA 75 O esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
22.73	19.53	87.72	275510.00
23.05	38.21	107.36	257580.00
22.86	55.15	123.73	236700.00
36.50	32.08	141.58	259670.00
36.89	60.48	171.15	300380.00
36.67	85.75	195.76	280850.00
71.79	59.95	275.32	353040.00
71.42	116.90	331.16	371870.00
71.36	187.20	401.28	334070.00
106.40	58.58	377.78	348250.00
106.20	83.23	401.83	388670.00
106.10	187.50	505.80	429490.00
140.80	82.54	504.94	693600.00
140.80	117.30	539.70	505110.00
140.60	252.80	674.60	520490.00

Çizelge EK 5.14. 25 KA 75 Z esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
22.83	19.50	87.99	126300.00
22.92	38.24	107.00	187570.00
22.81	54.72	123.15	172090.00
36.62	32.14	142.00	306260.00
36.64	59.31	169.23	238460.00
36.76	86.67	196.95	251060.00
71.66	58.27	273.25	395060.00
71.65	115.60	330.55	344950.00
71.56	186.00	400.68	369840.00
106.10	58.47	376.77	489000.00
106.30	82.88	401.78	428910.00
106.10	186.30	504.60	428830.00
140.60	83.49	505.29	473740.00
140.70	115.40	537.50	456710.00
140.60	252.90	674.70	586350.00

Çizelge EK 5.15. 75 DA 25 G esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
21.37	19.57	83.68	158410.00
21.18	38.45	101.99	192800.00
21.28	54.42	118.26	235690.00
35.18	32.09	137.63	282840.00
35.18	59.51	165.05	305780.00
35.22	83.32	188.98	297820.00
70.43	58.06	269.35	360100.00
70.05	115.70	325.85	406260.00
70.03	187.10	397.19	419570.00
104.80	57.96	372.36	421520.00
105.00	82.59	397.59	513200.00
105.20	186.90	502.50	532360.00
139.60	81.61	500.41	781870.00
139.50	115.50	534.00	563540.00
139.50	253.80	672.30	637340.00

Çizelge EK 5.16. 75 DA 25 O esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
22.05	19.73	85.88	102810.00
22.11	38.14	104.47	135200.00
22.07	55.09	121.30	172370.00
36.01	31.97	140.00	233240.00
35.87	59.15	166.76	323200.00
35.77	84.47	191.78	359620.00
71.10	58.02	271.32	435190.00
70.64	115.30	327.22	411370.00
71.10	186.90	400.20	519380.00
105.40	58.39	374.59	525990.00
105.80	83.04	400.44	451980.00
105.40	186.60	502.80	540380.00
140.30	82.51	503.41	487720.00
140.30	114.70	535.60	502330.00
140.10	254.10	674.40	739170.00

Çizelge EK 5.17. 75 DA 25 Z esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
19.22	19.85	77.51	101060.00
19.37	38.78	96.89	124250.00
19.44	56.36	114.68	171490.00
33.49	31.90	132.37	252300.00
33.32	61.13	161.09	264400.00
33.30	87.11	187.01	294470.00
68.53	60.66	266.25	515440.00
68.72	114.40	320.56	454370.00
68.70	185.50	391.60	431470.00
103.50	60.50	371.00	499130.00
103.50	84.76	395.26	565320.00
103.70	186.00	497.10	603670.00
138.40	83.55	498.75	515610.00
138.30	114.80	529.70	628720.00
138.40	252.70	667.90	625190.00

Çizelge EK 5.18. 50 DA 50 G esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
22.64	19.28	87.20	221640.00
22.55	37.84	105.49	210480.00
22.63	53.89	121.78	220810.00
36.47	31.85	141.26	279240.00
36.59	58.31	168.08	286340.00
36.57	83.28	192.99	318800.00
71.43	57.98	272.27	472360.00
71.43	114.70	328.99	463700.00
71.46	185.00	399.38	456790.00
106.10	57.63	375.93	480680.00
106.10	82.49	400.79	548160.00
106.10	184.90	503.20	562150.00
140.60	81.44	503.24	557750.00
140.70	114.40	536.50	582780.00
140.60	252.00	673.80	701630.00

Çizelge EK 5.19. 50 DA 50 O esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
23.07	19.50	88.71	59364.00
23.25	38.62	108.37	80560.00
23.38	57.10	127.24	100660.00
36.98	32.24	143.18	153770.00
36.99	61.78	172.75	168650.00
37.32	87.16	199.12	193960.00
71.81	60.76	276.19	345790.00
71.73	115.30	330.49	343130.00
71.93	186.30	402.09	356620.00
106.80	60.06	380.46	454060.00
106.40	85.44	404.64	456160.00
106.40	185.50	504.70	474530.00
140.90	83.63	506.33	506320.00
140.80	114.20	536.60	520930.00
141.30	253.90	677.80	677020.00

Çizelge EK 5.20. 50 DA 50 Z esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
22.49	19.49	86.96	155580.00
22.53	38.54	106.13	159050.00
22.41	57.12	124.35	182920.00
36.40	32.05	141.25	230630.00
36.66	62.56	172.54	212030.00
36.44	88.83	198.15	235310.00
71.62	62.22	277.08	309320.00
71.33	113.40	327.39	316660.00
71.33	183.20	397.19	365220.00
106.30	61.60	380.50	366190.00
106.20	86.40	405.00	372770.00
106.00	182.80	500.80	475910.00
140.80	86.08	508.48	456860.00
140.60	112.40	534.20	465020.00
140.50	252.80	674.30	554810.00

Çizelge EK 5.21. 25 DA 75 G esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
21.17	19.62	83.13	269620.00
21.64	38.39	103.31	184330.00
21.44	55.00	119.32	193340.00
35.31	32.15	138.08	195530.00
35.60	59.56	166.36	266880.00
35.25	84.22	189.97	253830.00
70.33	58.88	269.87	364620.00
70.29	115.90	326.77	464730.00
70.29	186.60	397.47	389740.00
105.00	58.70	373.70	473510.00
104.90	82.54	397.24	453420.00
104.90	186.20	500.90	463100.00
139.70	82.88	501.98	520790.00
139.40	116.20	534.40	460660.00
139.60	253.50	672.30	628200.00

Çizelge EK 5.22. 25 DA 75 O esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
22.37	19.26	86.37	56501.00
22.60	38.57	106.37	69366.00
22.33	56.96	123.95	84583.00
36.23	32.02	140.71	92375.00
36.51	62.09	171.62	127190.00
36.29	88.82	197.69	154590.00
71.04	61.03	274.15	220270.00
71.07	117.00	330.21	271040.00
70.99	187.90	400.87	290460.00
105.60	60.06	376.86	356410.00
105.60	86.48	403.28	354200.00
105.60	186.90	503.70	376180.00
139.90	86.30	506.00	516270.00
140.00	116.00	536.00	543400.00
140.10	252.80	673.10	551070.00

Çizelge EK 5.23. 25 DA 75 Z esneklik modülü deney sonuçları

Hücre Basıncı (kPa)	Deviatör Gerilme (kPa)	Toplam Gerilme (kPa)	Esneklik Modülü (kPa)
21.85	18.72	84.27	38058.00
21.89	37.81	103.48	38080.00
21.92	57.65	123.41	41336.00
35.75	31.43	138.68	48113.00
35.74	64.31	171.53	59171.00
35.83	91.92	199.41	78416.00
70.98	62.36	275.30	139850.00
70.68	118.60	330.64	216010.00
70.75	188.40	400.65	237190.00
105.70	60.45	377.55	280880.00
105.70	86.45	403.55	290900.00
105.30	187.50	503.40	362900.00
140.20	85.93	506.53	440310.00
140.00	116.50	536.50	434270.00
139.90	254.30	674.00	438320.00

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ekrem Burak TOKA
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya , 07.01.1995
Telefon : 0 545 725 95 00
Faks :
E-Posta : ebtoka@ktun.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Batman Anadolu Lisesi, Batman	2012
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Konya	2016
Yüksek Lisans	:	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017 - 2018	Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	Araştırma Görevlisi
2018 -	Konya Teknik Üniversitesi Müh. ve Doğa Bil. Fak.	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

İngilizce (YDS 87.5)

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Mohammed, A., Arslan, F., Toka, E. B., Yenginar, Y. ve Olgun, M., 2018, Using of fly ash into grouting mixture, *International Symposium for Environmental Science and Engineering Research*, Özet, Konya, 79.

Olgun, M. ve Toka, E. B., 2018, Determination of shear strength and deformation characteristics of sand soil-waste rubber mixtures improved with fly ash and clay *3rd International Conference on Civil and Environmental Engineering*, İzmir, 434-443.

Olgun, M. ve Toka, E. B., 2018, Experimental determination of the effect of waste carpet on the strength and deformation at failure of clayey soils with fly ash and cement *International Symposium for Environmental Science and Engineering Research*, Özet, Konya, 78.

- Toka, E. B. ve Olgun, M., 2017, Yol temel ve alttemel malzemesi özelliklerinin görüntü işleme tekniğiyle ilişkilendirilmesi, *Uluslararası Katılımlı 7. Geoteknik Sempozyumu*, İstanbul, 913-924.
- Toka, E. B. ve Olgun, M., 2017, Investigating of compressive and tensile strengths with deformation abilities of sand soils improved with waste rubbers *International conference on engineering technologies* Konya, 860-864.
- Toka, E. B. ve Olgun, M., 2018, Strength and compaction characteristics of recycled concrete aggregates *International Conference on Engineering Technologies* Konya, 490-493 (Yüksek Lisans Tezinden).

