

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**KENTSEL DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE YIKILAN BİNALARDAN DOLAYI  
ORTAYA ÇIKAN BETON ATIKLARININ GRANÜLER YOL TABAKASINDA  
AGREGA OLARAK KULLANIMI**

**Dürdane YILMAZ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEMMUZ 2019**

**ANTALYA**

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**KENTSEL DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE YIKILAN BİNALARDAN DOLAYI  
ORTAYA ÇIKAN BETON ATIKLARININ GRANÜLER YOL TABAKASINDA  
AGREGA OLARAK KULLANIMI**

**Dürdane YILMAZ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEMMUZ 2019**

**ANTALYA**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE YIKILAN BİNALARDAN DOLAYI  
ORTAYA ÇIKAN BETON ATIKLARININ GRANÜLER YOL TABAKASINDA  
AGREGA OLARAK KULLANIMI**

**Dürdane YILMAZ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez  
Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından  
FBA-2018-2913 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**TEMMUZ 2019**

**T.C.**  
**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE YIKILAN BİNALARDAN DOLAYI**  
**ORTAYA ÇIKAN BETON ATIKLARININ GRANÜLER YOL TABAKASINDA**  
**AGREGA OLARAK KULLANIMI**

**Dürdane YILMAZ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez 01/07/2019 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

Dr. Öğr. Üyesi Rıfat TÜR

Prof. Dr. Serdal TERZİ



## ÖZET

### KENTSEL DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE YIKILAN BİNALARDAN DOLAYI ORTAYA ÇIKAN BETON ATIKLARININ GRANÜLER YOL TABAKASINDA AGREGA OLARAK KULLANIMI

Dürdane YILMAZ

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

Temmuz 2019; 49 sayfa

Ülkemizde 2012 yılında başlatılan kentsel dönüşüm çalışmaları kapsamında çok yüksek miktarda inşaat ve yıkıntı atığı ortaya çıkmış ve bu atıklardan dolayı çevresel sorunlar başgöstermiştir. Doğal agrega kaynaklarının azalmış olmasından dolayı atıkların geri kazanım yöntemi ile alternatif bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi yoluna gidilmelidir. Kentsel dönüşümle ortaya çıkan atıkların geri kazanım yöntemi ile sadece doğal kaynakların korunmasına yardımcı olmakla kalınmayacak, aynı zamanda ülke ekonomisine ve çevresel kirlenmenin azalmasına da faydalar sağlanacaktır.

Bu çalışma kapsamında kentsel dönüşüm sürecinde ortaya çıkan beton molozlar agregaya dönüştürülerek, esnek üstyapılarda alttemel tabakasında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Doğal agrega olarak kullanılan kalker agrega ve Beton Atık Agregalara (BAA) Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) 2013’de belirtilen deneyler yapılmış ve sonuçlar şartname limitleri ile karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmasının birinci bölümünde araştırmanın önemi, kapsamı ve amacı açıklanmıştır. İkinci bölümünde esnek üstyapı tabakaları hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra ülkemizde ve dünyada geri dönüşüm malzemeleri ile yapılan çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde, BAA ve Kalker Agrega (KA) malzemelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için agrega deneyleri yapılmıştır. Daha sonra KA malzemesine alttemel dizaynı yapılmış ve bu dizayn doğrultusunda karışıma farklı oranlarda KA ile aynı granülometride BAA ilave edilmiştir. Bu karışım dizaynlarına Modifiye Proktor, CBR ve donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar KTŞ 2013 şartname limitleri ile karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışmanın sonuç bölümü olan dördüncü bölümde ise deney sonuçları değerlendirilmiş ve BAA malzemesinin alttemel tabakasında belirlenen oranlarda kullanılabilir olduğu görülmüştür.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Alttemel, Beton molozları, CBR, Donma-çözülme, Geri dönüşüm agrega, Kentsel dönüşüm

**JÜRİ:** Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

Prof. Dr. Serdal TERZİ

Dr. Öğr. Üyesi Rıfat TÜR

## ABSTRACT

### USE OF RECYCLED CONCRETE WASTE FROM URBAN TRANSFORMATION PROCESS AS SUBBASE MATERIALS IN PAVEMENT CONSTRUCTION

Dürdane YILMAZ

MSc Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sevil KÖFTECİ

July 2019; 49 pages

According to the urban renewal investigation started in 2012 in our country, environmental problems and high quantity of construction and debris waste increased. In addition, natural resources have also started to consume. For this reason, waste materials should be recycled as an alternative raw material source. Urban renewal method does not only help to conserve the natural resources, it also benefits the country's' economy and environmental effects.

In this study, the usability of concrete debris converted to aggregate in the base-layer of flexible pavement was investigated. Limestone aggregate which was used as natural aggregate and concrete waste aggregate (BBA) were tested according to Turkish Highway Construction Standard (KTŞ) and conducted tests results were compared with the specification limits.

In the first part of this study, the importance, purpose and scope of the this research were explained, while flexible pavement layers were discussed in the second part. Then the conducted researches on the use of recycling materials were investigated. In the third part of this investigation, aggregate tests were performed to determine the physical and mechanical properties of BAA and limestone aggregate (KA). Then, sub-base design was made with KA material and BBA was added to the mixture with the same granulometry as KA in different rates. Modified Proctor, CBR and freeze-thaw tests were performed on these mixtures and obtained results were compared with the KTŞ 2013 specification limits.

Finally, after the evaluating of test results discussed in the fourth part of this investigation, it may be concluded that BBA can be used in the sub-base layer with the specified ratios.

**KEYWORDS:** Base-layer, Concrete wastes, CBR, Freeze-thaw, Recycled aggregate, Urban renewal

**COMMITTEE:** Assoc. Prof. Dr. Sevil KÖFTECİ

Prof. Dr. Serdal TERZİ

Asst. Prof. Dr. Rifat TÜR

## ÖNSÖZ

Ülkemizde son yıllarda ulaşım projeleri kapsamında çok büyük yatırımlar yapılmaktadır. Büyük kapsamlı projeler hayata geçirilmekte ve geçirilmeye devam edilmektedir. Bu projeler kapsamında kullanılan malzemelerin çoğunluğu doğal kaynaklar olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğal kaynakların korunması, inşaat aşamasında kullanılan malzemelerin yerine yeniden kullanılabilir atık sistemi geliştirilmesi ve hayata geçirilmesi ile mümkündür. Ülkemizde başlayan kentsel dönüşüm süreci göz önünde bulundurulduğunda, çıkacak yapı atıklarının geri dönüşüm yöntemleri ile tekrar kullanılabilme imkanlarının araştırılması gerekmektedir. Bu kentsel dönüşüm atıklarının birçoğu beton atıklarıdır. Bu tez çalışmasında kentsel dönüşüm sürecinde ortaya çıkan beton atıklarının agregaya dönüştürülerek, yol tabakalarında kullanılmasıyla doğal agrega tüketimini minimuma indirgeyerek hem çevreye hem ekonomiye katkı sağlanacaktır.

Çalışma konusunun belirlenmesinde ve çalışmanın her aşamasında bilgi, görüş ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ'ye teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmalarımı sürdürürken bana vermiş olduğu bilgi ve yorumlarıyla yol gösteren Sayın Prof. Dr. Mustafa Hilmi ACAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarında bana yardımcı olan danışman hocamın Bitirme öğrencilerine teşekkür ederim. Yüksek lisans arkadaşlarım Mansor NAZARY, Ahmed Khaled MASBAH ve Murat YEŞİLBAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan, destekleyen aileme ve yeğenim Atilla Aras'a sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez çalışmamın her aşamasında FBA-2018-2913 no'lu proje kapsamında maddi destek sağlayan Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ .....	iii
AKADEMİK BEYAN .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK TARAMASI .....	3
2.1. Karayolu Esnek Üstyapısı.....	3
2.1.1. Alttemel tabakası.....	4
2.1.2. Temel tabakası .....	7
2.1.3. Kaplama tabakası .....	7
2.2. Literatür Özeti .....	8
3.MATERYAL VE METOT.....	15
3.1. Materyal .....	15
3.1.1. Kalker agrega.....	15
3.1.2. Beton atık agrega .....	16
3.1.3. Kalker agrega ve beton atık agregalara uygulanan deneyler .....	16
3.1.3.1. Kaba agregalar için özgül ağırlık ve su emme oranının tayini deneyi	17
3.1.3.2. İnce agregalar için özgül ağırlık ve su emme oranının tayini deneyi..	18
3.1.1.3. Los Angeles aşınma deneyi.....	20
3.1.1.4. Yassılık indeksi deneyi .....	22
3.1.1.5. Metilen mavisi deneyi.....	24
3.1.1.6. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi (MgSO <sub>4</sub> deneyi) .....	25
3.1.1.7. Zararlı maddelerin belirlenmesi için organik madde tayini .....	26
3.2. Metot.....	27
3.2.1. Karışım oranları .....	27
3.2.2. Modifiye Proktor deneyi.....	28
3.2.3. Yaş CBR deneyi (Yaş Kaliforniya taşıma oranı).....	30
3.2.4. Donma çözülme deneyi .....	31



4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	33
4.1. Alttemelde Kullanılması Planlanan Agregalara Uygulanan Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar .....	33
4.1.1. Kaba ve ince agregalar için özgül ağırlık ve su emme oranının tayini deney sonuçları .....	33
4.1.2. Yassılık indeksi sonuçları.....	34
4.1.3. Metilen mavisi deney sonuçları .....	35
4.1.4. Los Angeles aşınma deney sonuçları .....	36
4.1.5. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi sonuçları (MgSO <sub>4</sub> ).....	37
4.1.6. Organik madde tayini deney sonucu .....	37
4.1.7. Alttemel malzemesi agrega deney sonuçlarının özeti .....	38
4.2. Alttemel tabakasına uygulanan deneylerin sonuçları .....	39
4.2.1. Modifiye Proktor deney sonuçları.....	39
4.2.2. Yaş CBR Deney Sonuçları .....	41
4.2.3. Karışım agrega numunesine yapılan dona karşı dayanıklılık (MgSO <sub>4</sub> ) deneyinin sonucu .....	42
4.2.4. Donma çözülme öncesi ve sonrası numunelerin CBR deney sonuçları.....	42
4.3. Maliyet Analizi.....	43
5. SONUÇLAR.....	45
6. KAYNAKLAR .....	47
ÖZGEÇMİŞ	

## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kentsel Dönüşüm Sürecinde Yıkılan Binalardan Dolayı Ortaya Çıkan Beton Atıklarının Granüler Yol Tabakasında Agregası Olarak Kullanımı” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

01/07/2019

Dürdane YILMAZ



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

°C	: Santigrat derece
cm	: Santimetre
cm <sup>2</sup>	: Santimetrekare
cm <sup>3</sup>	: Santimetreküp
dk	: Dakika
G	: Ağırlık
gr	: Gram
Kg	: Kilogram
mm	: Milimetre
T	: Ton
W	: Su muhtevası

Bu tez çalışmasında sayıların ondalık kısmı (.) ile ayrılmıştır.

### Kısaltmalar

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	: American Society for Testing and Materials
BAA	: Beton Atık Agregası
BBK	: Beton Blok Kırığı
BS	: British Standards
BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
CBR	: Kaliforniya Taşıma Gücü
ÇBGT	: Çimento Bağlayıcı Granüler Temel
ÇİNKOM	: Çinko Kurşun Metal ve Madencilik San. Tic. A.Ş.
EAF	: Elektrik Ark Fırını
EN	: European Norms (Avrupa Normları)

İYA	: İnşaat ve Yıkım Atıkları
İSFALT	: İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret AŞ
KA	: Kalker Agregası
KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
MgSO <sub>4</sub>	: Magnezyum Sülfat
PMT	: Plent-Miks Temel
RAP	: Geri Dönüştürülmüş Asfalt Kaplama
TS	: Türk Standartları

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Esnek üstyapının tipik kesiti.....	3
Şekil 2.2. Yüke bağlı gerilmelerin derinliği ile azalması.....	4
Şekil 2.3. Attemel yapım aşaması .....	6
Şekil 3.1. a) Beton molozları; b) Beton molozların konkasörden; c) Beton atık agregaların kırma eleme sonrası.....	16
Şekil 3.2. a) Doymun kuru yüzey hale getirilmesi; b) Tel sepet ile numunelerin su tankında tartılması.....	18
Şekil 3.3. a) Piknometrenin boş ağırlığı; b) Piknometre + su ağırlığının tartılması; c) Piknometre + yüzey kuru suya doymun numune ağırlığının belirlenmesi; d) Piknometre + yüzey kuru suya doymun numune + su ağırlığının belirlenmesi.....	19
Şekil 3.4. a) Los Angeles aşınma makinası; b) Makinadan çıkarılan numunelerin 1.6 mm'lik elekten elenmesi .....	22
Şekil 3.5. Yassılık indeksi deney şablonu.....	23
Şekil 3.6. Metilen mavisi deney düzeneği .....	24
Şekil 3.7. a) Numunelerin tel sepetlere konulması; b) Tel sepetlerin magnezyum sülfat çözeltisine konulması; c) Magnezyum sülfat çözeltisi kabın su banyosunda bekletilmesi; d) Deney sonucunda numunelerin magnezyum sülfat çözeltisinden arındırılması için yıkama iş .....	26
Şekil 3. 8. a) NaOH Çözeltisinin hazırlanması; b) Çözeltiye numunelerin koyulması .	27
Şekil 3.9. a) Malzemelerin homojen bir şekilde karıştırılması; b) Tokmak ile sıkıştırma işlemi; c) Kalıp ile yaş numunenin ağırlığının kaydedilmesi; d) Su içeriğinin belirlenmesi için yaş numune örneklerinin etüvde kurutulması .....	29
Şekil 3.10. a) Numune üzerine ağırlık konulması b) Deney numunesinin küre bırakılması; c) Kaliforniya taşıma gücü (CBR) deney aleti.....	31
Şekil 3.11. Donma çözülme döngüsü .....	32
Şekil 4.1. Metilen mavisi deney sonuçları	36
Şekil 4.2. Los Angeles aşınma deney sonuçları .....	36
Şekil 4.3. Agrega donma-çözülme deney sonuçları .....	37
Şekil 4.4. Alttemel karışım numunelerinin nem-yoğunluk ilişkisi .....	40
Şekil 4.5. Yaş CBR deney sonuçları.....	41

<b>Şekil 4.6.</b> CBR deney sonrası numunenin genel görünümü .....	42
<b>Şekil 4.7.</b> Donma-çözülme öncesi ve sonrası CBR oranı değişimi.....	43

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Alttemel tabakası için kaba agregaların özellikleri (KTŞ 2013) .....	5
Çizelge 2.2. İnce agreganın fiziksel özellikleri (KTŞ 2013).....	6
Çizelge 3.1. Alttemel malzemesi gradasyon limitleri (KTŞ 2013).....	15
Çizelge 3.2. Granülometri sınıfları ve gerekli numune miktarları (Demirel vd. 2012)..	20
Çizelge 3.3. Aşınma sınıfına göre kullanılan küre sayıları (Demirel vd. 2012) .....	21
Çizelge 3.4. Yassılık indeksi deneyine alınan malzeme miktarları (Demirel vd. 2012)	23
Çizelge 3.5. Dayanıklılık deneyi için kaba agrega sınıflandırma.....	25
Çizelge 3.6. Agregada organik madde referans renkleri (T.C Milli Eğitim Bakanlığı 2011) .....	27
Çizelge 3.7. BAA+KA Karışım oranları .....	28
Çizelge 4.1. İri ve ince daneli agregaların özgül ağırlık ve su emme deney sonuçları...	33
Çizelge 4.2. Numunelerin ortalama özgül ağırlık ve su emme değerleri .....	34
Çizelge 4.3. Kaba agregaların yassılık indeksi deney sonuçları .....	35
Çizelge 4.4. Alttemel malzemesi agregada deney sonuçları .....	38
Çizelge 4.5. Alt temel malzemesi karışımları için optimum su içeriğinin ve maksimum kuru birim hacim ağırlığının özeti .....	40

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde, birçok kentte yapılan kaçak yapıların ortaya çıkardığı çarpık kentleşme, özellikle büyük şehirlerde kentsel problem halini almıştır. Hızlı nüfus artışı, deprem riski altındaki yerlere inşa edilen yapılar ve doğal afetler gibi nedenlerden dolayı 2012 yılında yürürlüğe giren 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi hakkındaki yasanın onaylanması ile hızlı bir kentsel dönüşüm sürecine girmiştir.

Kentsel dönüşüm sürecinde yıkılan yapılardan büyük miktarda inşaat ve yıkıntı atığı ortaya çıkmıştır ve halen çıkmaya devam etmektedir. Bu atıkların depolanması, doğaya terk edilmesi büyük problemlere sebebiyet vermektedir. Dolayısıyla artan inşaat ve yıkıntı atıkların depolanması için gerekli olan enerji ve depolama saha alanları yetersiz olup, bu durum hem ekonomik hem çevresel sorunlara sebebiyet vermektedir. Bu nedenle, tehlikesiz atıkların geri kazanımını sağlayarak yeniden kullanılması için çalışmalar daha da geliştirmelidir. Geri kazanılmış atıkların kullanımının yaygınlaşması, doğal kaynakların korunumunun yanı sıra, atıkların oluşturacağı çevresel etki ve ekonomik açıdan olumlu katkılar sağlayacaktır.

Hammadde tüketiminin en fazla olduğu sektörlerden birisi inşaat sektörüdür. İnşaat sektöründe karayollarının önemi, günümüzde hızlı nüfus artışı, ekonomik kalkınma ve yaşam standartlarının yükselmesi ile giderek artmaktadır. Dolayısıyla yeni ulaşım yollarına olan ihtiyacın yanı sıra, mevcut yolların bakım ve onarım giderleri hızla artmaktadır. Karayolu inşaatında esnek üstyapılarda tüketilen malzemelerin büyük bir kısmı agregalardır. Hızla artan agrega ihtiyacından dolayı yeni taş ocaklarına gereksinim duyulmaktadır. Fakat taş ocakları sayısındaki artış hem çevreye zarar vermekte, hem de doğadaki tahribat oranında arttırmaktadır. Hızlı üretim ve tüketim artışından dolayı, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayamamasına engel olmak için doğal kaynakların sürdürülebilirliğini sağlamak gerekmektedir. Bu sebeple ülkemizde hammadde kaynaklarına alternatif atıkların ikinci hammadde olarak kullanılmasına yönelik çalışmalar hızlanmıştır. Bu çalışmanın temel konusu, inşaat ve yıkıntı atığı sonucu ortaya çıkan beton atıklardan elde edilecek geri dönüştürülmüş agregaların esnek üstyapılarda alttemel tabakasında doğal agregalara alternatif ikincil agrega olarak kullanılabilirliği olmuştur. Geri dönüşüm yoluyla aşağıdaki hedeflerin gerçekleşmesi öngörülmektedir.

- i) Geri dönüşümle elde edilecek agregalara deneyler uygulayarak geri dönüşüm agregalarının performansının belirlenmesi.
- ii) Geri dönüştürülmüş agregalar kullanılarak, oluşturulacak alttemel tabakalarının karışım performansının belirlenmesi.
- iii) Geri dönüşüm yolu ile kentsel dönüşüm atık betonlarının çevreye yeniden kazanımı.
- iv) Geri dönüşüm agregası kullanılarak ekonomik kazanım elde edilmesi.
- v) Geri dönüşüm agregasının, tam verimle kullanılabilmesinin sağlanması.
- vi) Atık betonlardan elde edilecek agregaların kullanılmasıyla ülkemizde bulunan doğal agrega rezervlerinin azalmasının önlenmesi.
- vii) Beton atıklarının bırakıldığı atık sahalarının ortadan kaldırılması ile çevreye uyumlu bir yaklaşım sergilenmesi.



Çalışma kapsamında, Antalya İli Kepez Santral Mahallesi Kentsel Dönüşüm projesi sürecinde yıkılan yapılardan temin edilen beton atıkları kırma-eleme işlemi sonucu beton atık agregalar (BAA) elde edilmiştir. Doğal agregalar olarak kalker agregası (KA), Antalya İli Korkuteli yolu, Söğütçük Köyü'nde bulunan taş ocağından temin edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan malzemelere Karayolları Teknik Şartname 2013'de (KTŞ 2013) belirtilen agregalar deneyleri (Özgül ağırlık, su emme, Los Angeles aşınma, organik madde tayini, metilen mavisi, hava tesirlerine karşı dayanıklılık ve yassılık indeksi deneyleri) yapılarak, agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. BAA ve KA malzemelerinin agregalar özellikleri karşılaştırılarak elde edilen değerler bu çalışmanın bulgular kısmında verilmiştir.

Yapılan agregalar deneyleri sonucunda, BAA malzemesinin su emme ve hava tesirlerine karşı dayanıklılık değerleri KTŞ 2013 alttemel tabakası için belirtilen limit değerinin çok üstünde olduğu belirlenmiştir. Bu yüzden BAA malzemesinin ağırlıkça %100 oranında alttemel tabakasında kullanılmasının zeminin dayanımını olumsuz yönde etkileyeceği tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmada ilk olarak BAA, toplam malzemenin ağırlıkça %0, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında karışıma ilave edilerek, karışım numunelerinin Modifiye Proktor ve CBR özellikleri araştırılmıştır.

Karışım numunelerine yapılan CBR deneyinden elde edilen sonuçlar şartname limit değerinden oldukça yüksek yani olumlu çıkmıştır. Bu sonuçlar neticesinde BAA malzemesini, karışımda maksimum oranda tutarak ağırlıkça %50 oranında bir karışım hazırlanmıştır. Bu çalışmada BAA ağırlıkça %50 oranı ile sınırlandırmasının sebebi, BAA numunesinin su emme ve hava tesirlerine karşı dayanıklılık değerlerinin KTŞ 2013 sınır limit değerlerine çok yakın bir değer çıkmasıdır.

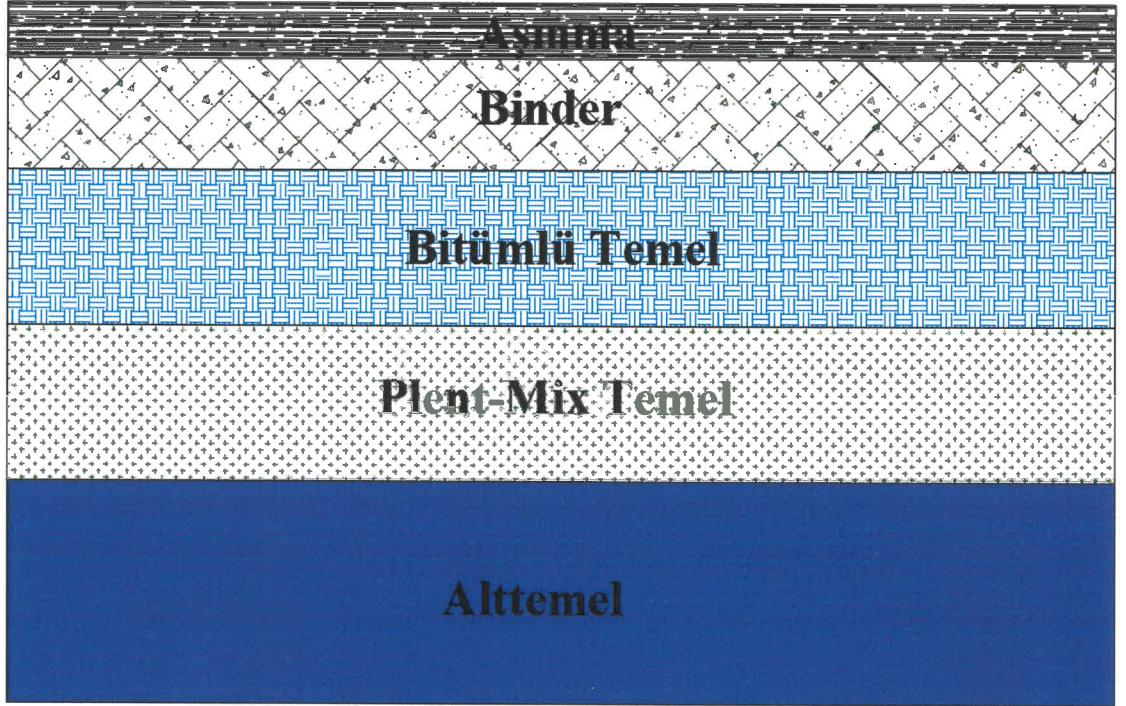
Deneysel çalışmanın son aşamasında ağırlıkça %0 yani kontrol numunesi ve %50 oranında BAA karışım numunelerinin olumsuz hava koşulları altında dayanımındaki değişimi belirlemek için donma- çözülme deneyi yapılmıştır. Donma çözülme sonrası numunelere CBR deneyi yapılmıştır. Numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası CBR değerleri karşılaştırılmıştır.

## 2. KAYNAK TARAMASI

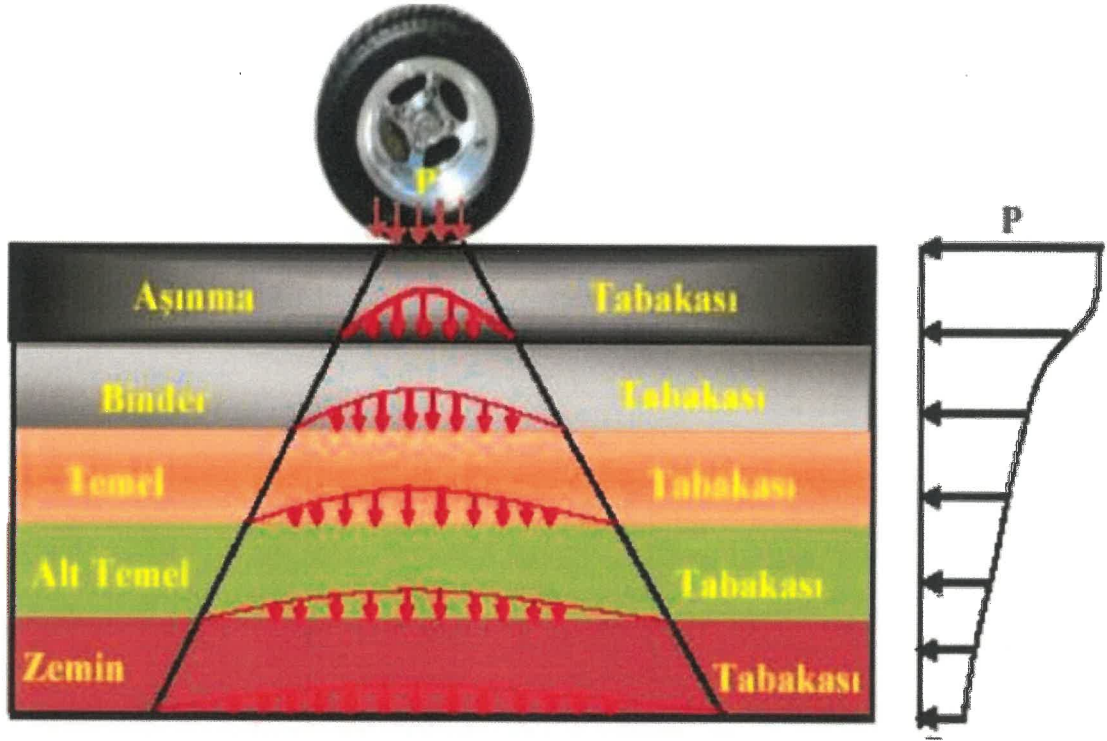
### 2.1. Karayolu Esnek Üstyapısı

Karayolu esnek üstyapısı, taşıtlar için gerekli performansa ve taşıtların meydana getirdiği gerilmelere karşı yeterli dayanımda olacak şekilde çok tabakalı esnek bir yapıdır (Tunç 2001).

Tabakalı esnek üstyapı; tasarım ömrü, trafik hacmi ve alt tabanın taşıma gücü gibi kriterler göz önünde bulundurularak tasarlanmaktadır. Ülkemizde Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) yollarda uygulanan esnek üstyapı sistemi, Şekil 2.1’de görüldüğü gibi alttemel, temel ve kaplama tabakalarından oluşmaktadır. Bu tabakaların her biri yapısal desteğe ve drenaja katkıda bulunmaktadır. Her bir tabaka üzerine gelen yük, alt tabakalara dağıtılır. Böylece gerilmeler, en üst tabakada maksimum ve alt tabakada minimum olacak şekilde dağılacaktır. Bu sebepten dolayı tabakalar genellikle üstte en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip malzeme ile altta ise en düşük taşıma kapasitesine sahip malzeme ile azalan yük taşıma kapasitesine göre düzenlenir (Gupta 2009). Şekil 2.2’de, esnek üstyapı tabakalarındaki gerilmelerin dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Esnek üstyapının tipik kesiti



Şekil 2.2. Yüke bağlı gerilmelerin derinlik ile azalması (Çetin 2007)

Esnek üstyapı tasarımı; yük, yüzeyden aşağı doğru iletilirken herhangi bir büyüklükteki yükün azalması ilkesine dayanır. Esnek üstyapılarda alt tabakaya ulaşan yükün, alt zemin toprağının taşıma kapasitesini aşmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Sonuç olarak, alt taban üzerindeki tabakaların kalınlıkları, inşa edilecek bir yolun, maliyetini etkileyen toprağın kuvvetine bağlı olarak değişmektedir. İyi projelendirilmiş bir üstyapı, belirtilen tabakaların ve taban zeminin şartnamelere uygun bir şekilde gerçekleştirilmesine bağlıdır (Gupta 2009).

### 2.1.1. Alttemel tabakası

Esnek üstyapıların en alt tabakası olan alttemel tabakası, taban yüzeyi ile temel tabakası arasında yerleştirilen, temel tabakasını taşımak üzere granüler malzeme veya belirli koşullara uygun malzemelerden oluşmuş, belli hesap kalınlığına sahip bir üstyapı tabaka şeklidir (Umar ve Açar 1985). Alt temel tabakası düşük mukavemet ve düşük elastisite modülü özelliklerine sahip iyi drene olabilen granüler malzemeden oluşur. Alt temel tabakasının ana işlevleri;

- i) İri taneli olan temel tabakanın malzemesi ile daha ince olan taban zemindeki malzeme arasında geçiş tabakası sağlamak
- ii) Don kabarması, şişme ve büzülme gibi hacim değişikliklerine karşı koymak
- iii) Yapısal destek sağlamak
- iv) Kaplama altında gerekli drenajı sağlamak
- v) Üst tabakalardan gelen trafik yüklerini taban zemine üniform bir şekilde iletmek
- vi) Üst tabakalardaki malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini korumak

- vii) Temel tabakasına elverişli bir yüzey oluşturmak
- viii) Esnek üstyapı inşa maliyetini düşürmek

Alttemel ile granüler temel tabakasının işlevleri açısından aralarında önemli bir fark yoktur. Alttemel tabakayı, granüler temel tabakadan ayıran en önemli fark; ekonomik malzemelerle istenen kaplama kalınlığını elde etmektir. Kullanılan malzemenin kalitesi ne kadar düşük olursa, gerilmeleri tolere etmek ve iletmek için gereken kalınlık o kadar artacaktır (Gaetona 2010).

Alttemelin kalitesi, yolun faydalı ömrü için çok önemlidir ve yüzeyin ömrünü uzatmaktadır. Alttemel tabakası her zaman gerekli değildir ya da kullanılmaz. Örneğin; yüksek kaliteli, sert bir taban zemin üzerine inşa edilecek bir tabaka, ilave bir alttemel tabakasına ihtiyaç duymayabilir (Gaetona 2010).

Ülkemizde alttemel tabakası, KTŞ 2013’de belirtilen gradasyon limit değerleri içerisinde hazırlanmaktadır. Hazırlanan malzeme su ile karıştırılarak, ince tesviyesi tamamlanmış dolgu ve yarmadan oluşan üstyapı tabanı üzerine bir veya birden fazla tabakalar halinde, projede belirtilen plan, profil ve enkesitlere uygun olarak serilip sıkıştırılmaktadır (KTŞ 2013). Modifiye Proktor deneyi ile optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim ağılıkları bulunur. Bulunan bu değerlere göre %98’sine kadar sıkıştırılan numunelerin yaş CBR değeri Tip A’da en az %30, Tip B’de en az %50 olmalıdır (KTŞ 2013).

Alttemel tabakasında kullanılacak kaba agregalar Çizelge 2.1’de verilen deney standartlarını sağlamalıdır. İnce agregalar ise Çizelge 2.2’de verilen deney standartlarını sağlamalıdır.

**Çizelge 2.1.** Alttemel tabakası için kaba agregaların özellikleri (KTŞ 2013)

Deney	Şartname Limitleri	Deney Standardı
% Hava tesirlerine karşı dayanıklılık (MgSO <sub>4</sub> ile kayıp), Max %	≤ 25 (MS <sub>25</sub> )	TS EN 1367 - 2
Aşınma Kaybı ( Los Angeles ) Max %	≤ 45 (LA <sub>45</sub> )	TS EN 1097 -2* ASHTO T 96
Yassılık indeksi, Max %	35	BS 812
	≤ 30 (FI <sub>30</sub> )	
Su emme (kaba ve ince agregada),Max %	≤ 3.5 (WA <sub>24</sub> 3.5)	TS EN 933 - 3*
Kil toprağı ve dağılabilen dane oranı, Max %	İri malzeme (4.75 mm elek üstü) ≤ 2	TS 1900 - 1 AASHTO T90



Çizelge 2.2. İnce agreganın fiziksel özellikleri (KTŞ 2013)

Deney Adı		Şartname Limitleri	Deney Standardı
Likit limit, %		≤ 25	TS EN 1097 - 6
Plastisite indeksi, %		≤ 6	TS 1900 - 1 AASHTO T89
Organik madde, (%3 NaOH ile)		Negatif	ASTM C142
Metilen mavisi	İnce agreganın 0.72 mm'lik kısmına	≤ 4.0 (MB <sub>4.0</sub> ) ≤ 5.5 (MB <sub>5.5</sub> )**	TS EN 1744 - 1
MB g/kg	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmına	≤ 5.5 (MB <sub>5.5</sub> )**	TS EN 933 - 9

Şekil 2.3. Attemel yapım aşaması (<http://www.osmancamci.com.tr/faaliyetler/kara>)

### 2.1.2. Temel tabakası

Temel tabakası, kaplama tabakasının hemen altındaki tabakadır. Esnek bir kaplama sisteminde temel tabakası, kaplamaya yapısal destek sağlamaktadır.

Temel tabakasının ana görevi; yol yüzeyine uygulanan tüm yükleri (araç ve çevre yükleri de dahil olmak üzere), alt temel tabakalarına, kaplama sistemi boyunca dağıtmaktır. Bu nedenle en uygun temel malzemesi, tekrarlı yükler altında hem sert hem de deformasyona karşı dayanıklı olmalıdır. Temel tabakasının önemi, kaplamanın taşıma kapasitesine katkıda bulunmakla sınırlı değildir, aynı zamanda kaplamanın yapısı içindeki fazla nemin drenajını da sağlamalıdır. Temel malzemesinde nemin bulunması malzemenin mukavemetinin ve sertliğinin azalmasına neden olmaktadır. Buna ek olarak, soğuk bölgelerde donma-çözülme döngüleri ve donma kabarması temel tabakası içindeki serbest suyun bulunmasına bağlıdır (Kuluoğlu vd. 2006). Karayollarında üç farklı temel tipi vardır;

1. Granüler temel
2. Plent-Miks temel (PMT)
3. Çimento bağlayıcı granüler temel (ÇBGT)

#### Granüler temel

Granüler temel tabakası, KTŞ 2013’de istenilen fiziksel özelliklere ve gradasyona sahip çakıl, kırılmış çakıl, kırılmış cüruf veya kırmataş ile ince malzemelerin optimum su muhtevalarında karıştırılıp yola serildikten sonra silindir ile sıkıştırılmasıyla oluşan stabil bir temel tabakasıdır (Tunç 2001). Modifiye Proktor ile sıkışma %98 şartını sağlamalıdır. Sıkıştırılan granüler tabakanın kalınlığı 15 cm’yi geçmemelidir (KTŞ 2013 ).

#### Plent-Miks temel

Plent-Miks temel (PMT) tabakası, granüler temel tabakasında olduğu gibi, KTŞ 2013’de belirtilen fiziksel özellikleri sağlayan ve iyi derecelenmiş agregaların, optimum su içeriğinde plentte karıştırılmasıyla hazırlanarak bir veya birden fazla tabakalar halinde serilip sıkıştırılmasıyla elde edilen tabakadır (KTŞ 2013). Modifiye Proktor ile sıkışma %100 şartını sağlamalı ve sıkıştırılan plent-miks temel kalınlığı 20 cm’yi geçmemelidir (KTŞ 2013 ).

#### Çimento Bağlayıcı Granüler temel

Çimento bağlayıcı granüler temel tabakası, KTŞ 2013’de belirtilen gradasyon limitleri içerisinde kalacak şekilde plentte çimento ve su katılarak karıştırılıp hazırlanan malzemenin yola serilip sıkıştırılması ile oluşturulan tabakadır (Tunç 2001). Modifiye Proktor ile sıkışma %98’i sağlamalı ve sıkıştırılan çimento bağlayıcı granüler temelin kalınlığı 15 cm’yi geçmemelidir (KTŞ 2013 ).

### 2.1.3. Kaplama tabakası

Esnek üstyapıyı oluşturan kaplama tabakası, bağlayıcı içeren ya da bağlayıcı içermeyen bir temel malzemesinin üzerine serilen ve trafik yükleriyle doğrudan temas halinde olan tabakadır. Bu nedenle kaplama tabakası en çok yıpranma ve aşınmaya maruz

kalan tabakadır. İdeal bir kaplama tabakası, kaplamanın bozulma sürecini hızlandırabilecek çok çeşitli etkilere maruz kalmaktadır. Bunlar başlıca; araç trafiğindeki artış, değişken ortam koşulları, sıcaklıktaki değişiklikler ve temel tabakasının yapısal bozulmalarıdır. Uzan (2004), asfalt tabakasının kalınlığının arttırılması ile üstyapının sertleşmesinin sağlandığını ve kalıcı deformasyonların azalmasının sağlandığını tespit etmiştir. Bu nedenle bu tabakanın kalınlığı, bahsi geçen etkilere göre seçilmelidir.

Kaplama tabakası en yüksek kaliteli malzemelerden oluşmalıdır. Temel ve alttemele göre daha stabil ve daha yüksek elastikiyete sahip olmalıdır. İdeal bir kaplama tabakası, sürtünme, pürüzsüzlük, ses kontrolü, düzgün sürüş ve kaymaz yüzey, iz ve sürtünme direnci ve drenaj gibi özellikleri sağlamalıdır. Ek olarak, aşırı miktarda yüzey suyunun temele, alttemele ve taban zeminine girmesini önlemelidir. Kaplama tabakası genellikle aşınma ve binder tabakası olmak üzere iki tabakadan oluşmaktadır (Umar ve Ağar 1985). Kaplama tabakaları, genellikle yapım ve çalışma ilkeleri birbirlerinden oldukça farklı iki tipte yapılır: Yüzeysel (sathi) kaplamalar ve bitümlü karışımın plentte hazırlanması ile oluşturulan kaplamalar (İlıcılı 1988).

## 2.2. Literatür Özeti

Leite vd. (2011), bu deneysel çalışmalarında inşaat ve yıkıntı atıklarının (İYA) agrega olarak yol tabakalarında uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Geoteknik özellikleri, taşıma kapasitesi ve tekrarlanan üç eksenli deney yöntemi kullanılarak laboratuvarda deneyler yapılmıştır. Sıkıştırma işlemi, agregaların dane dağılımını değiştirmiş ve kübik dane yüzdesini arttırarak, İYA agrega danelerinin ezilme kırılmasına neden olmuştur. Bu fiziksel değişim, İYA agregasının daha iyi sıkışmasına ve sonuç olarak taşıma kapasitesinde, esnek modülde ve kalıcı deformasyona karşı dirençte bir iyileşmeye katkıda bulunmuştur. Sonuçlar, İYA agregasının düşük hacimli yollar için temel ve alttemel tabakasında kullanılabileceği görülmüştür.

Abu and Behiry (2013), Mısır'daki temel veya alttemel uygulamalarında kullanılan, geleneksel kireçtaşı agrega (LSA) ile karıştırılmış geri dönüştürülmüş beton agrega (RCA) kullanılmasının fizibilitesini incelemek için kapsamlı bir laboratuvar programı yapmışlardır. Sonuçlara göre RCA'nın karışıma ilave edilmesi mekanik özellikleri iyileştirdiği görülmüştür.

Arshad ve Ahmed (2017), Bu çalışmalarında % 50 ve % 75 Geri dönüştürülmüş Asfalt Kaplama (RAP) ve Geri Dönüşümlü Beton Agrega (RCA) içeren malzemeler ile karışımlar hazırlayarak temel ve alttemel tabakaları için uygun olup olmadıklarını incelemişlerdir. Karışımların esnek modül (MR) özelliğini belirlemek için laboratuvar ortamında deneyler yapılmıştır. Sonuçlara göre %75 RAP içeren karışım en iyi sonucu vermiştir.

Gabr ve Camereon (2012), çalışmalarında geri dönüştürülmüş beton agrega (RCA) malzemelerinin bağlayıcı olmayan yol tabakası için uygunluğunu araştırmışlardır. Çalışmada doğal agraga olarak kuvarsit kullanılmıştır. RAC karışımlarının esneklik modülü ve kalıcı deformasyon davranışını belirlemek için karışımlar farklı su muhtevalarında (%90,%80 ve %60 optimum su muhtevalarında) basitleştirilmiş bir gerilme deneyine tabi tutulmuştur. Hem esnek modül hem de kalıcı deformasyon açısından, RCA malzemesi kuvarsit agregadan daha iyi performans göstermiştir.

Arulrajah vd. (2013), Bu araştırma çalışmasında, beş çeşit inşaat ve yıkım (C&D) atık malzemesinin geoteknik özelliklerinin kapsamlı bir laboratuvar değerlendirmesini yapmışlardır. Test edilen C&D malzemeleri; geri dönüştürülmüş beton agrega (RCA), kırma tuğla (CB), atık kaya (WR), geri kazanılmış asfalt kaplama (RAP) ve ince geri dönüştürülmüş cam (FRG). Yapılan deneyler neticesinde, RCA ve WR'nin alttemel tabakasında kullanılması durumunda geoteknik mühendislik özelliklerinin tipik taş ocağı granül alttemel malzemelerinkine eşdeğer veya üstün olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, CB, RAP ve FRG'nin özellikleri, katkı maddeleriyle daha da artırılabilir veya alttemel tabakasında kullanımlarını sağlamak için yüksek kaliteli agrega karışımları ile karıştırılabilir.

Chen vd. (2002), İnşaat molozlarından elde edilen çeşitli bileşimlerin geri dönüştürülmüş agregaları kullanılarak bir dizi deney yapılmıştır. Test sonuçları, bina molozlarının uygun işlemlerle faydalı geri dönüştürülmüş agregaya dönüştürülebileceğini göstermektedir.

Yılmaz ve Süttaş (2008), çalışmalarında Antalya ilinde bulunan ETİ Ferrokrom fabrikasında atık olarak ortaya çıkan ferrokrom cürufunun karayolu yol üst yapısının temel tabakalarında doğal agregalara alternatif bir malzeme olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada, temel tabakası için hazırlanan bağlayıcı içermeyen granüler karışımlara, CBR ve Proktor deneyleri, bağlayıcı içeren karışımlara ise serbest basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda ferrokrom cürufunun fiziksel ve mekanik özelliklerinin yol üst yapısının granüler tabakalarında, doğal agregaya alternatif olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Bunlara ek olarak hidrolik bir bağlayıcı ile stabilize edilen cüruf karışımların yüksek dayanımlara sahip olması nedeniyle iyi bir stabilizasyon alternatifi oluşturabileceği belirlenmiştir.

Çetin (1997), tez çalışmasında otomobil lastiği, plastik, kül, petrolü sondaj atığı ve mermer tozu gibi endüstriyel atıkların asfalt beton aşınma tabakasındaki fiziksel ve mekanik etkileri araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan agrega ile asfalt çimentosu Türk standartlarına göre seçilmiştir. Lastik ve plastik atıkları %5, %10 ve %20 oranında karışıma ilave edilmiştir. Lastik tozlar, kül, petrolü sondaj atığı, mermer tozu, kireç ve çimento filler olarak kullanılmıştır. Agreganın %5 oranında filler malzemesi kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar üzerinde Marshall stabilite ve akma deneyi, indirek çekme deneyi, serbest basınç deney ve su hasarı deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda lastik dane çapı ve miktarı arttıkça Marshall stabilite ve hacim özgül ağırlık değerlerinin azaldığı görülmüştür. Lastik parçaları ilave edilen asfalt beton kaplama karışımlarının boşluk oranı ve akma değerlerinin ise arttığı görülmüştür. En iyi indirek çekme değerleri 4-200 nolu elek arasında kalan lastik parçalarının %10 oranında ilave edildiği karışımda meydana geldiği görülmüştür. Plastik ilavesi ile hazırlanan karışımlarda ise Marshall stabilite ve indirek çekme mukavemeti değerlerinin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Filler malzemesi olarak kullanılan külün asfalt beton kaplama karışımlarının Marshall stabilite, indirek çekme mukavemeti ve serbest basınç değerlerini önemli ölçüde etkilemediği görülmüşken, petrolü sondaj çamuru ilave edilen karışımda indirek çekme mukavemetini (konvansiyonel asfalt kaplama karışımların %25 oranında) azaltmıştır. Marshall stabilitesi, indirek çekme ve serbest basınç deneylerine göre, filler olarak kullanılan atıklardan en iyi sonucu kireç ilavesi vermiştir. Çalışmanın sonucunda lastik ve plastik atık ilave edilen karışımların tokluk ve elastiklik özelliklerinin iyileştiği ve çatlamların azaldığı tespit edilmiştir. Mermer tozu,



çimento, kül ve taş tozu filler ile hazırlanan numunelerin serbest basınç değerlerinin birbirlerine yakın olduğu bu bağlamda da asfalt kaplama karışımlarında filler malzemesi olarak kullanılmasında bir sakınca olmadığı kanaatine varılmıştır. Yapılan tüm çalışmalar sonucunda özellikle lastik ve plastik ilave edilen asfalt beton kaplama karışımların tokluk ve elastik özelliklerinin iyileştiği ve çatlamların azaldığı tespit edilmiştir.

Kartalkanat (2013), yapmış olduğu tez çalışmasında Üsküdar İlçesinde, Kentsel Dönüşüm Sürecinde yıkılan binalardan çıkan toplam atık miktarını hesaplamıştır. Kentsel dönüşüm kapsamında binalardan alınan atık malzemelere agrega deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde çıkan sonuçlar incelenmiş bu konuda İsfalt Genel Müdürlüğü Laboratuvarında daha önce yapılmış olan çalışmalar referans alınarak atık malzeme ile agrega belirli gradasyon ve oranlarda bir araya getirilmiş, malzemenin karışım dizaynları yapılmıştır. Karışım numunelerine agrega deneyleri yapılarak, yol üst yapısı tabakalarından alttemel Tip A sınıfında kullanılabilirliği tespit edilmiştir. Üsküdar ilçesinde kentsel dönüşüm sürecinde çıkacak moloz miktarı bu kapsamda değerlendirildiğinde, alttemel Tip A için kullanılacak agrega miktarını yüzde 25 oranında düşüreceği tespit edilmiştir. Üsküdar ilçesinde toplam 55.642 adet binadan 19.462.726.36 m<sup>3</sup> (31.140.362.18 ton) atık malzeme çıkacağı hesaplanmıştır. Üsküdar ilçesinde hesaba katılan binalarda kentsel dönüşümün 20 yıl içerisinde tamamlanması ve bu binalardan çıkacak atık malzemenin alttemelde kullanılması ve agregaya dönüştürülerek satılması durumları göz önünde bulundurulduğunda ülke ekonomisine 314.420.366.65 TL'lik katkı sağlayacağı belirtilmiştir.

Seren (2015) tarafından yapılan tez çalışmasında, Elektrik Ark Fırını (EAF) cürufunun yapay agrega olarak karayolu esnek üstyapısı Çimento Bağlayıcı Granüler Temel (ÇBGT) tabakasında kullanılabilirliği araştırılmıştır. EAF cürufu ve doğal agreganın fiziksel özelliklerini belirlemek için Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) 2013'de belirtilen standartlara göre; özgül ağırlık ve su emme, Los Angeles, yassılık indeksi, organik madde içeriği, metilen mavisi, kil toprağı ve dağılabilen tane oranı, hava tesirlerine karşı dayanıklılık, likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Farklı granülometrilere hazırlanan numunelere Modifiye Proktor ve CBR deneyleri yapılmıştır. Aynı karışımlara farklı oranlarda çimento ilave ederek hazırlanan numunelere serbest basınç dayanım deneyi yapılmıştır. EAF cürufuna yapılan fiziksel deneylere göre yol inşaatında kullanılacak dayanımda olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yük taşıma kapasiteleri için yapılan deneylerde ise yüksek stabilitede olduğu görülmüştür. EAF cürufunun karayolu esnek üstyapısında ÇBGT tabakasında kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Khalaf (2004), bu makale çalışma kapsamında atık tuğlaların bitümlü karışımlarda agrega olarak kullanılmasının etkilerini araştırmıştır. Öncelikle iki tür ezilmiş (kullanılmayan ve geri dönüştürülmüş) tuğla ve granit agrega üzerinde, özelliklerini belirlemek ve karşılaştırmak için ön denemeler yapılmıştır. Granit agrega önceki çalışmalarda bitümlü karışımlarda daha sağlam ve kaliteli sonuçlar verdiği için, bulguları karşılaştırmakta kontrol olarak seçilmiş agregalarla bitümlü numuneler yapılarak fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çalışmanın neticesinde, kullanılmamış ve geri dönüştürülüş tuğlalarla oluşturulan numuneleri performans açısından granit agregaya göre daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Bunun nedeninin, tuğla agregalarının yüzeylerinin yüksek poroziteli ve pürüzlü olmasından dolayı karışımda daha çok bitümü absorbe etmesi ve daha iyi bağ yapması olduğu

düşünülmektedir. Bu çalışmanın sonucunda geri dönüştürülmüş tuğlaların, yol yapımında agregaya uygun alternatif olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Kalem (2015), tez çalışmasında yapısal atıkların yumuşak killi zeminlerde zemin stabilizasyonuna etkilerini araştırmıştır. Alt yapı ve yol inşaatlarında killi zeminlerin stabilizasyonu için uygulanan en yaygın yöntemlerden birisi kireç stabilizasyonudur. Fakat kireç de doğada bulunan bir hammaddedir. Doğal kaynaklar her geçen gün hızla tükenmektedir. Bu yüzden geri dönüşüm bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Yapılan deneylerde doğal zemin numunesi olarak kaolen kiline ağırlıkça sabit olarak %5 oranında kireç; %0, %5, %10, %15, %20, %25 oranlarında uçucu kül ve inşaat yıkıntı atığı katılarak numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin her birine kompaksiyon deneyi yapılarak zeminin optimum su oranı ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları bulunmuştur. Elde edilen optimum su oranları ile sıkıştırılan zeminler 1 gün, 7 gün ve 28 günlük kürlere bırakılıp kürlenme süresi bittikten sonra CBR deneyleri yapılmıştır. CBR deneyi sonucu katkı maddeleri ile iyileştirilen bu numunelerin taşıma gücü kapasitelerinin ne kadar arttığı belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, katkısız kaolen kilinin CBR değeri 4.23 iken inşaat yıkıntı atığı katkısı ile hazırlanan numunenin CBR değeri 24.59'a ulaşarak %500'ü aşan bir iyileşme olduğu görülmüştür. İnşaat yıkıntı atığı ve uçucu külün olduğu karışımlarda ise CBR değeri 52.29 olarak tespit edilmiştir.

Öksüz (2011) tarafından yapılan çalışmada volkanik cüruf, hurda cam ve cam şişe atıkları esnek üstyapılarda filler malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve kırmataş tozu ile karşılaştırması yapılmıştır. Tez iki aşamalı deneylerden oluşmaktadır. Birinci aşamasında; sabit filler oranı (%7) ve bitüm oranı %4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 ve 6.5 kullanılarak hazırlanan asfalt betonu karışımlarına Marshall stabilite deneyleri yapılarak optimum bitüm yüzdesi bulunmuştur. İkinci aşamasında ise farklı filler malzemeleri ile hazırlanmış karışımlar için optimum bitüm oranı ve %5, 6, 7, 8 ve 9 filler oranı ile hazırlanan numunelere Marshall stabilite deneyleri yapılmış, elde edilen değerler kırmataş tozu ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada, volkanik cüruf, hurda cam ve cam şişe atıklarının esnek üst yapılarında filler malzemesi olarak kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

Baydilli (2018), tez çalışmasında Kayseri Çinko - Kurşun üretim tesisi atıklarının yol dolgusu ve yol üstyapı tabakalarında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu amaçla atık malzemeyi belirli oranlarda ilave ederek yol üstyapı tabakalarından alttemel ve temel tabakalarında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada yapılan Modifiye Proktor ve CBR deneylerinde Karayolları 6.Bölge Müdürlüğü'ne ait Pamuktepe Taş Ocağından temin edilen kalker agrega ile ÇİNKOM A.Ş.'de stok sahasından temin edilen atık cürufları kullanılmıştır. Kalker agregaya alttemel ve temel dizaynları yapılmış ve bu dizaynlara farklı oranlarda kalker agrega yerine cüruf malzeme ilave edilerek cüruf malzemenin oluşturduğu etkiler araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda cüruf ilavesi ile malzemenin dolgu ve üstyapı tabakalarından alttemel tabakasında ayrı ayrı belirlenen oranlarda kullanılabileceği görülmüştür.

Çağrıçı (2016), yaptığı çalışmada inşaat ve yıkıntı atıklarından geri kazanılan malzemelerin karayolu üstyapısında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Ayrıca İSFALT A.Ş. tesislerinde inşaat ve yıkıntı atık (İYA) kullanılarak endüstriyel ölçekli üretim yapılmış ve üretilen malzemeler ile dolgu, alttemel, plentmiks temel ve bitümlü temel tabakalarının hepsinin yer aldığı yaklaşık 100 metre uzunluğunda test yolu uygulaması

yapılmıştır. Üretimi ve uygulaması yapılan dolgu, alttemel, plentmiks temel ve bitümlü temel tabakalarının hepsinden numuneler alınmış ve kalite kontrol deneyleri yapılarak üretim ve uygulamaların Karayolu Teknik Şartnamesine uygunluğu araştırılmıştır. Çalışma kapsamında İSFALT A.Ş. İstanbul sınırlarında ortaya çıkan iki çeşit inşaat yıkıntı atığı kullanılmıştır. Birincisi İYA'nın sadece beton blok kısımları kırıcı yardımı ile istenilen dane boyutlarında beton blok kırık (BBK) İYA malzeme elde edilmiştir. BBK İYA'nın asfalt ve yol tabakalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. İkincisi ise karışık haldeki İYA tesiste kırılmış ve yol tabakalarında kullanılabilirliği belirlenmiştir. İYA'nın kullanım oranlarını belirlemek için laboratuvarında karışım dizayn çalışmaları yapılmıştır. Dizayn çalışmaları dolgu tabakasında karışık İYA olarak %100, alttemel tabakasında İYA %50 - BBK İYA %65, plentmiks temel tabakasında karışık İYA %40 - BBK İYA %60 olarak hazırlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda İYA'nın asfaltın altındaki dolguda tamamen kullanılabileceği, alttemel ve plentmiks temel tabakalarında ise belirli oranlarda kullanılabileceği belirlenmiştir.

Akça (2014), deneysel çalışmasında, kentsel dönüşüm sürecinde meydana gelen inşaat atık molozlarının iri agrega olarak yeniden beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Karışımlarda kullanılacak agregaların fiziksel özelliklerini belirlemek için elek analizi, özgül ağırlık, mevcut su içeriği, su emme, Los Angeles aşınma ve organik madde tayini deneyleri yapılmıştır. Doğal iri agregalara ağırlıkça %25, %30 ve %55 oranında aynı granülometrideki geri kazanılmış agregalar ilave edilerek karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımlara ek olarak tüm beton karışımlarına hacimce %0, %1 ve %1.5 oranlarında polipropilen lif ikame edilmiştir. Üretilen betonlara taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Aynı karışım oranlarına sahip doğal agregalı ve geri kazanılmış agregalı betonların karşılaştırılması için taze halde çökme tayini, birim hacim ağırlık, hava içeriği deneyleri; sertleşmiş halde ise birim hacim ağırlık, basınç altında su işleme derinliği, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, statik-dinamik elastisite modülü ve eğilme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiş eğilme toklukları hesaplanmıştır. Yapılan deneyler neticesinde, geri kazanılmış agregaların su emme yüzdesi değerlerinin doğal agregalara göre daha yüksek, özgül ağırlıklarının ve aşınma dirençlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Geri kazanılmış agregaların, betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini bir miktar olumsuz etkileyebileceği, lif içeriğinin ise eğilme ve yarma dayanımlarını genel olarak iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

Satiroğlu (2013), çalışmasında geri dönüştürülmüş betonların yol alt yapısında seçme malzeme olarak ve yol üst yapısında alt temel tabakasında alternatif agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Yapılan deneyler sonucunda yüksek enerji altında CBR değerindeki azalmanın sebebinin beton moloz malzemesinin üzerinde bulunan çimentonun yük altında ufalanarak gradasyonun bozulması ve alt temel tabakasında kullanılacak malzemenin stabilitesinin azalıp üst yapıdan gelen yükleri karşılamakta zorlanabileceği belirtilmiştir. Bu durum yol üst yapısında deformasyonlara yol açabileceği belirtilmiştir.

Ok ve Demir (2018), makale çalışmalarında kentsel dönüşüm projesi sürecinde depreme dayanıksız olduğu belirlenen yapılardan alınan yıkıntı atıkların geri dönüşümü yapılarak karayolu dolgularında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Daha sonra laboratuvar deneyleri yapılarak atıkların fiziksel mekanik özellikleri belirlenmiştir. Deney sonuçları farklı ülkelerde yapılan çalışmalar ile karşılaştırılıp ülkemizdeki yıkıntı atıkların dünyadaki yıkıntı atıklarına benzerlikleri araştırılmıştır. Yapılan deneyler

neticesinde inşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüştürülerek karayolu dolgularında kullanılabileceği görülmüştür.

Seferoğlu, Seferoğlu ve Akpınar (2015), çalışmalarında Türkiye'deki karayolu aşınma tabakasından elde edilen geri dönüştürülmüş asfalt kaplama (RAP) malzemesinin, yolun taşıma kapasitesine etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla doğal agrega malzemesi ile RAP malzemesi ağırlıkça farklı oranlarda karıştırılmıştır. Karışımlardaki RAP oranının taşıma kapasitesine etkisini tespit etmek için karışım numunelerine CBR testleri yapılmıştır. Geleneksel ile RAP içeren plent-mix temel arasında mali analiz yapılmıştır. Plent-mix tabakasından kullanılması gereken optimum RAP oranı belirlenmiştir. Yapılan testler sonucunda temel tabakasından karışımın RAP oranının artmasıyla CBR değerinin azaldığı fakat Karayolları Teknik Şartnamesi'nde belirtilen CBR sınır değeri sağladığı görülmüştür. Optimum RAP oranının en fazla %5 olduğu daha yüksek oranlarda karışıma ilave edilirse CBR değerinin şartname limit değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

Akentuna (2013), yapmış olduğu tez çalışmasında, yıkılmış bir yapıdan elde edilen geri dönüşümlü beton agregaların (RCA) özelliklerini belirlemek ve Portland Çimento Betonu (PCC) çalışmaları için uygunluğunu belirlemek ve granül bir temel veya alttemel malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Beton agrega malzemesi ve granül temel veya alttemel malzemeleri için şartnameye uygunluğunu belirlemek için RCA numuneleri üzerinde testler yapılmıştır. RCA farklı oranlarda doğal kaba agregalar ile ikame edilmesinden oluşan birkaç beton karışımı hazırlanmış ve 7, 14 ve 28 günlük kür sürelerinden sonra basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Çeşitli oranlarda RCA ile yapılan betonun basınç dayanımı, RCA içeriği arttıkça azalmıştır. Doğal agrega ve RCA numunelerinin dayanıklılık özellikleri, kimyasal ve aşındırıcı etki altında direncini belirlemek için sodyum sülfat, hızlı donma-çözülme ve mikro-deval testleri kullanılarak incelenmiştir. RCA malzemesinin CBR değeri, granüler temel veya alttemel tabakasına uygunluğunu belirlemek üzere, doğal bir yol tabaka malzemesi ile karşılaştırılmıştır. RCA malzemesi, doğal agrega malzemesine kıyasla daha düşük maksimum kuru yoğunluğa, daha yüksek optimum su içeriğine ve daha düşük CBR değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Pourtahmasb ve Karim (2014), çalışmalarında beton atık agregalarının taş mastik asfalt karışımlarında kullanılabilirliğini deneysel bir çalışma ile araştırmışlardır. Geri dönüştürülmüş agrega içeren taş mastik asfalt karışımlarının mühendislik özellikleri, Marshall karışım dizayn yöntemine dayanan farklı bağlayıcı yüzdeleri için değerlendirilmiştir. Sonuçlar, iki faktörlü varyans analizi (ANOVA) kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, geri dönüştürülmüş agrega, işlenmemiş granit agregaya göre daha gözenekli ve daha boşluklu olmasından dolayı taş mastik karışımların performansını etkilediği görülmüştür. Fakat karışıma belirli oranlarda geri dönüştürülmüş agrega ilave edilerek taş mastik asfaltların mühendislik özelliklerinin standartları sağladığı belirlenmiştir.

Arabani ve Azarhoosh (2012), çalışmalarında atık beton ve çelik çüruf agregaları ile asfalt karışımlarının mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Marshall numunelerini hazırlamak ve optimum asfalt bağlayıcı içeriğini belirlemek için üç tip agrega (dasit, geri dönüştürülmüş beton ve çelik çüruf) içeren altı farklı asfalt karışımı kullanılmıştır. Karışımların mekanik özellikleri Marshall stabilitesi, kalıcı deformasyon, yorulma ve

esnek modülü testleri ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, optimum karışımın çelik cüruf kaba agregaları ve geri dönüştürülmüş beton ince agregaları içerdiği belirlenmiştir.

### 3. MATERYAL VE METOT

Deneysel çalışmanın bu bölümünde, kentsel dönüşüm atıklarının agrega olarak alttemel tabakasında kullanılabilirliğinin incelenmesi için, ilk olarak deneylerde kullanılan kalker ve beton atıklarının fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra karışım oranlarının belirlenmesi için karışımların performans deneyleri KTŞ 2013’de belirtilen standartlara uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1. Materyal

Tez çalışmasının bu aşamasında, deneysel çalışmalarda kullanılan materyallerin hangi standartlarda olması gerektiği ve malzemelerin temin edildiği yer hakkında bilgiler verilmiştir.

##### 3.1.1. Kalker agrega

Araştırma kapsamında Antalya İli Korkuteli yolu Söğütçük Köyü’nde bulunan taş ocağından temin edilen kalker agrega (KA) kullanılmıştır. Alttemel malzemesi olarak kullanılan agreganın temiz, sağlam ve dayanıklı olması ve malzemede kil toprakları, bitkisel maddeler ve diğer zararlı maddelerin bulunmaması gerekmektedir. Alttemel malzemesinin hazırlanmasında Çizelge 3.1’de verilen KTŞ 2013 gradasyon limitleri sınıfından TİP B kullanılmıştır. Çalışmada 19 - 9.5 mm, 9.5 - 4.75 mm, 4.75 - 2 mm, 2 - 0.425 mm, 0.425 - 0.075 mm ve 0.075 - 0 mm boyutlarında kalker agregaları kullanılmıştır. Alttemel malzemesi olarak kullanılan KA’nın, özelliklerinin belirlenmesi için agrega deneyleri yapılarak, elde edilen sonuçların KTŞ 2013’e uygunlukları belirlenmiştir.

**Çizelge 3.1.** Alttemel malzemesi gradasyon limitleri (KTŞ 2013)

Elek Açıklığı		TİP-A	TİP-B
mm	inç	% Geçen	% Geçen
75	3	100	
50	2	-	100
37,5	1 1/2	85-100	80-100
25	1	-	60-90
19	3/4	70-100	48-80
9,5	3/8	45-80	30-70
4,75	No.4	30-75	25-55
2	No.10	-	15-40
0,425	No.40	10-25	10-20
0,075	No.200	0-12	0-12

### 3.1.2. Beton atık agrega

Antalya Kepez Santral Mahallesi Kentsel Dönüşüm projesi sürecinde yıkılan binalardan beton moloz atıkları temin edilmiştir (Şekil 3.1a). Beton moloz atıkları laboratuvarında konkasör yardımı ile kırılmıştır (Şekil 3.1b). Daha sonra elek makinası ile istenilen boyutlara getirilmiştir (Şekil 3.1c). Çalışmada 19 - 9.5 mm, 9.5 - 4.75 mm, 4.75 - 2 mm, 2 - 0.425 mm, 0.425 - 0.075 mm ve 0.075 - 0 mm boyutlarında beton atık agregaları (BAA) kullanılmıştır. BAA malzemesine KTŞ 2013’de alttemel malzemesi için belirtilen agrega deneyleri yapılarak uygunlukları belirlenmiştir.



Şekil 3.1. a) Beton molozları; b) Beton molozların konkasörden kırılması; c) Beton atık agregaların kırma eleme sonrası

### 3.1.3. Kalker agrega ve beton atık agregalara uygulanan deneyler

Bu bölümde BAA ve KA malzemelerine fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için özgül ağırlık ve su emme, yassılık indeksi ve metilen mavisi deneyi, mekanik özelliklerinin belirlenmesi için Los Angeles aşınma deneyi, fiziksel etkenlere karşı dayanıklılığını belirlemek için dona karşı dayanıklılık ( $MgSO_4$ ) deneyi ve zararlı madde içeriğini belirlemek için organik madde tayini yapılmıştır. Elde edilen sonuçların, KTŞ 2013’e uygunlukları araştırılmıştır.

### 3.1.3.1. Kaba agregalar için özgül ağırlık ve su emme oranının tayini deneyi

Bu deneyin amacı KA ve BAA numunelerinin kaba danelerinin TS EN 1097 - 6 standardına göre özgül ağırlık ve su emme oranını tayin etmektir.

Agregaların su emme oranı boşluk hacim oranı ile doğru orantılıdır. Boşluklu olan agregaların su emme oranı fazla olmaktadır. Su emme oranı yüksek olan bir agreganın dona karşı mukavemeti de düşük olacaktır. Dolayısıyla, kullanılacak olan agregaların su emme oranının düşük olması gerekmektedir. Deney şu şekilde uygulanmıştır:

- i) 4.75 mm elek üzerinde kalan agregalar yıkanmış ve 24 saat suda bekletilmiştir.
- ii) Agregalar sudan çıkarılarak havlu yardımı ile agrega daneleri teker teker yüzey kuru suya doygun hale gelene kadar kurulanmıştır (Şekil 3.2a). Yüzey kuru suya doygun hale gelen agregalar tartılmıştır (M<sub>1</sub>).
- iii) Agregalar tel sepete konularak Şekil 3.2b'de görüldüğü gibi su tankına daldırılmış ve sudaki ağırlığı tartılmıştır (M<sub>2</sub>).
- iv) Agregalar tepsiye boşaltılarak 110±5 °C'lik etüvde 24 saat kurutulmuştur. Kuru ağırlıkları tartılmıştır (M<sub>3</sub>).
- v) Özgül ağırlık değerleri ve su emme oranları eşitlik (3.1), (3.2), ve (3.3)'de verilen formüller ile hesaplanmıştır.

$$\text{Hacim Özgül Ağırlığı} = \frac{M_3}{(M_1 - M_2)} \quad (3.1)$$

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlığı} = \frac{M_3}{(M_3 - M_2)} \quad (3.2)$$

$$\text{Su Emme Yüzdesi (\%)} = \frac{(M_1 - M_3)}{M_3} * 100 \quad (3.3)$$

Burada;

M1: Yüzey kuru-suya doygun numune ağırlığı (gr)

M2: Yüzey kuru-suya doygun sudaki ağırlığı (gr)

M3: Kuru numune ağırlığı (gr)



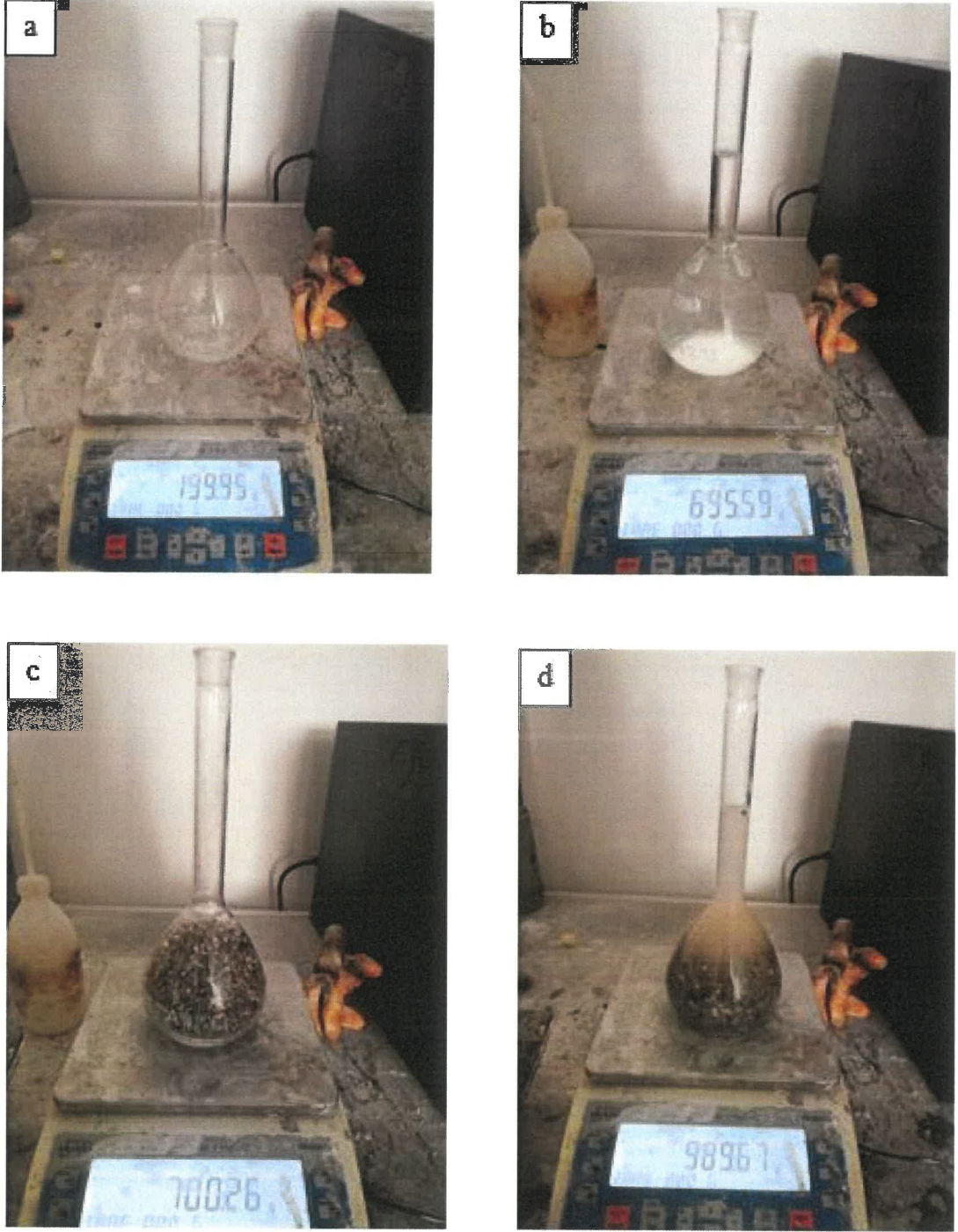


Şekil 3.2. a) Yüzeyin doymun kuru hale getirilmesi; b) Tel sepet ile numunelerin su tankında tartılması

### 3.1.3.2. İnce agregalar için özgül ağırlık ve su emme oranının tayini deneyi

Tez çalışmasında, BAA ve KA malzemelerinin ince agrega özgül ağırlık ve su absorpsiyonu aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- i) KA ve BAA malzemeleri 4.75-2, 2-0.425 ve 0.425-0.075 elek açıklıklarına göre ayrı ayrı elenerek hazırlanmıştır (yaklaşık 700 gr).
- ii) Numuneler 24 saat suda bekletilmiş ve daha sonra suyu süzölmüştür.
- iii) Numune emici olmayan düz bir yüzeye bırakılmıştır. Numunelerin yüzey kuru suya doymun hale gelmesi için kurutma makinası kullanılmıştır.
- iv) İnce danelerin yüzey kuru suya doymun hale geldiğini belirlemek için koni testi yapılmıştır.
- v) Piknometrenin ağırlığı kaydedilmiştir (A) (Şekil 3.3a) ve piknometre üzerindeki işaret çizgisine kadar su ile doldurulmuş ağırlığı kaydedilmiştir (B) (Şekil 3.3b).
- vi) Daha sonra piknometre içindeki su boşaltılarak içine yaklaşık 500 gram yüzey kuru suya doymun agregalar yerleştirilmiş ve tartılmıştır (C) (Şekil 3.3c).
- vii) Numunelerin üzerini kaplayacak şekilde su ilave edilmiş ve hava kabarcıklarını gidermek için piknometre çalkalanmıştır.
- viii) Daha sonra piknometrenin kalan kısmı üzerindeki işaret çizgisine kadar su ile doldurulmuştur. Piknometre, yüzey kuru suyu doymun numune ve su ağırlığı tartılıp kaydedilmiştir (D) (Şekil 3.3d).
- ix) Piknometre içindeki numuneler çıkartılmış ve etüvde 24 saat kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numunelerin ağırlıkları kaydedilmiştir (E). İnce agregaların; zahiri özgül ağırlık, hacimsel özgül ağırlık ve su emme değerleri, sırasıyla (3.4), (3.5), ve (3.6) eşitlikleri ile hesaplanmıştır.



**Şekil 3.3. a) Piknometrenin boş ağırlığı; b) Piknometre + su ağırlığının tartılması; c) Piknometre + yüzey kuru suya doygun numune ağırlığının belirlenmesi; d) Piknometre + yüzey kuru suya doygun numune + su ağırlığının belirlenmesi**

$$\text{Zahiri Özgöl Ağırlık} = \frac{E}{E-(D-B)} \quad (3.4)$$

$$\text{Hacimsel Özgül Ağırlık} = \frac{C-A}{(C-A)-(B-D)} \quad (3.5)$$

$$\text{Su Emme Yüzdesi} = \frac{C-A-E}{E} * 100 \quad (3.6)$$

Burada:

A = Piknometrenin ağırlığı (gr)

B = İşaret çizgisine kadar suyla doldurulmuş piknometrenin ağırlığı (gr)

C = Piknometre+yüzey kuru suya doymuş (gr)

D = Piknometre+yüzey kuru suya doymuş+su ağırlığı (gr)

E= Kuru numunenin ağırlığı (gr)

### 3.1.1.3. Los Angeles aşınma deneyi

Los Angeles aşınma deneyi, agreganın tekrarlı tekerlek yüklerine karşı dayanımının belirlenmesi için yapılmaktadır. Tez çalışmasında izlenen deney prosedürleri ASTM C 131 standardına uygundur. Deneyde kullanılan KA ve BAA numuneleri KTŞ 2013 alttemel malzemesi gradasyon TİP B limitlerinde belirtilen agrega dane boyutlarına göre Çizelge 3.2'de gösterilen sınıflardan A sınıfına göre ayrı ayrı hazırlanmıştır. Çizelge 3.3'den gerekli küre sayısı bulunmuştur.

**Çizelge 3.2.** Granülometri sınıfları ve gerekli numune miktarları (Demirel vd. 2012)

Elek Açıklığı		Aşınma Sınıfı						
Geçtiği Elek (mm)	Kaldığı Elek (mm)	A	B	C	D	E	F	G
75	63					2500		
63	50					2500		
50	37.5					5000	5000	
37.5	25	1250					5000	5000
25	19	1250						5000

Çizelge 3.2'nin devamı

19	12.5	1250	2500					
12.5	9.5	1250	2500					
9.5	6.3			2500				
6.3	4.75			2500				
4.75	2.36				5000			
<b>Toplam</b>		5000	5000	5000	5000	10000	10000	10000
<b>Tolerans</b>		±10	±10	±10	±10	±100	±75	±50
<b>Devir sayısı</b>		500	500	500	500	1000	1000	1000

Çizelge 3.3. Aşınma sınıfına göre kullanılan küre sayıları (Demirel vd. 2012)

Sınıfı	Küre Sayısı	Yükleme(G)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15
E	12	5000±25
F	12	5000±25
G	12	5000±25

Numunelerden 37.5-25 mm, 25-19 mm, 19-12.5 mm ve 12.5-9.5 mm arasında yaklaşık 1350 gr kaba agregalar elenerek hazırlanmıştır. Her dane aralığı, iyice yıkanmıştır. Numuneler 24 saat 110±5 °C'lik etüvde kurutulmuş ve en az 4 saat süreyle soğumaya bırakılmıştır. Her bir dane aralığından 1250 gr numuneler alınıp toplam 5000 gr numune 12 adet bilye ile Los Angeles makinesinin tamburuna konulmuş ve kapağı sıkıca kapatılmıştır(Şekil 3.4a). Makinedeki devir sayısı, dakikada 30-33 devir olacak şekilde 500 devire ayarlanmıştır. Deney tamamlandıktan sonra makinadan çıkartılan aşındırılmış numuneler 1.60 mm elek üzerinde elenmiştir. Elek üstünde kalan kısım yıkanmış ve 110±5 °C'lik etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulan numuneler tekrar 1.60 mm'lik elekten elenmiş ve elek üstünde kalan numunenin ağırlığı



kaydedilmiştir (Şekil 3.4b). Burada; elek üstünde kalan numune ağırlığının, ilk ağırlığa oranı, % olarak agregada meydana gelen aşınmayı belirtmektedir.

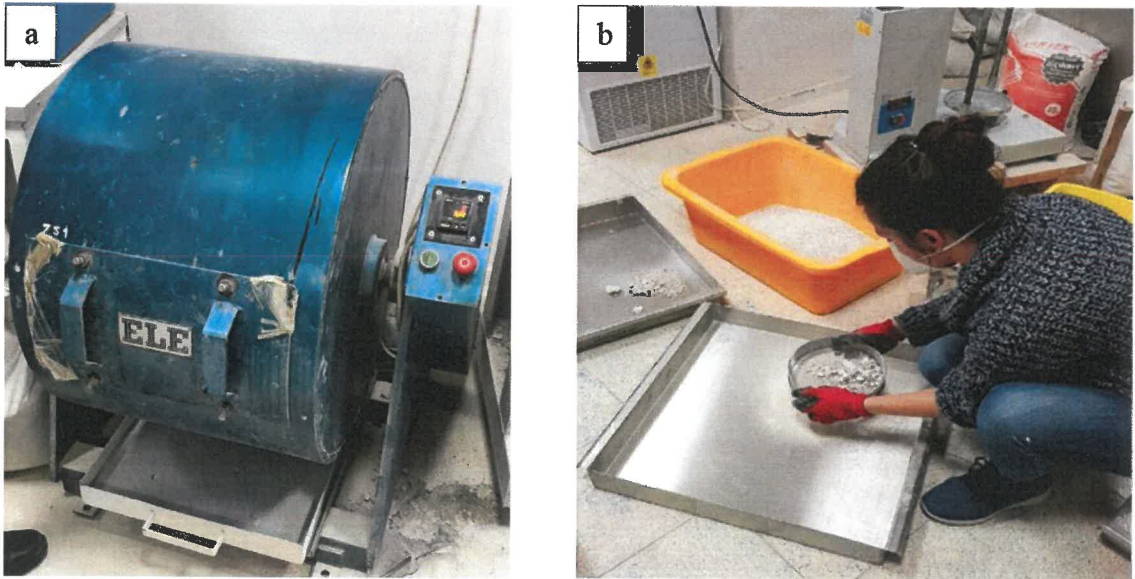
Karayolu inşasında kullanılan agregalar çevresel ve mekanik etkenlerden dolayı parçalanmaya, ufalanmaya, aşınmaya ve kırılmaya maruz kalmaktadır. Bu yüzden agregaların kullanım yerlerine göre aşınma değerleri KTŞ 2013’de belirtilen limit sınır değerlerini sağlamalıdır. Eşitlik (3.7) ile numunelerin aşınma kayıp yüzdeleri bulunmuştur.

$$\text{Los Angeles Aşınma Deneyi (\%)} = \frac{A-B}{A} 100 \quad (3.7)$$

Denklemden:

A: Numunenin ilk ağırlık

B: Numunenin son ağırlık



Şekil 3.4. a) Los Angeles aşınma makinası; b) Makinadan çıkarılan numunelerin 1.6 mm’lik elekten elenmesi

#### 3.1.1.4. Yassılık indeksi deneyi

Yassılık indeksi deneyi BS 812 standardı kullanılarak agregalardaki yassı tane yüzdesini belirlemek için yapılan bir deneydir. Deney sadece 6.3 mm elek boyutu üzerinde kalan daneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Deneyde kullanılan BAA ve KA için alınan numune miktarları Çizelge 3.4’e göre belirlenmiştir. Yassılık indeksi şablonundan numuneler kendi açıklığından elle tek tek elenmiştir (Şekil 3.5). Şablondan geçen numunelerin ağırlıkları tartılmıştır. Yassılık indeksi oranı eşitlik (3.8)’de verilen formül ile hesaplanmıştır. Elde edilen oran, 0.6’dan

küçük bir değer ise malzeme yassı kabul edilmektedir (Demirel vd. 2012). Yassı malzeme oranının fazla olması yol uygulamalarında pürüzlü bir yüzeye ve su ihtiyacının artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca karayollarında, yassı agreganın çok fazla olması, yolun dayanımının düşük olmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle agrega boyutlarının orantılı olması istenmektedir.

$$\text{Yassılık İndeksi (\%)} = \frac{M_2}{M_1} * 100 \quad (3.8)$$

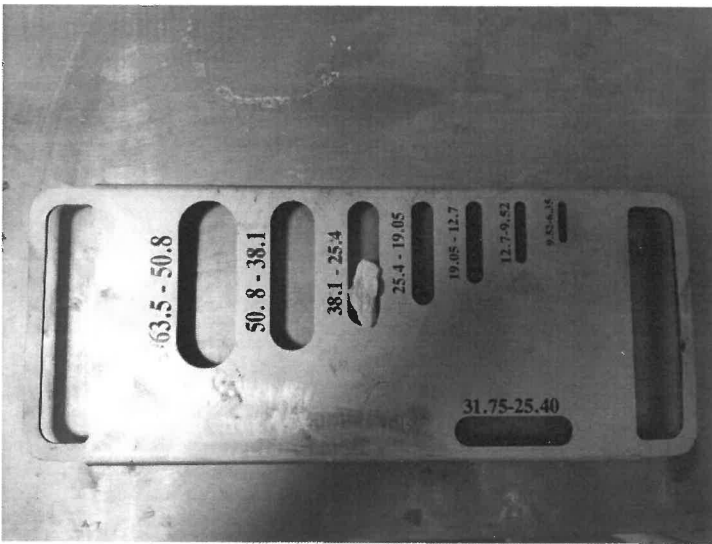
Denklemdede:

$M_1$ : Deneyde kullanılan toplam malzeme ağırlığı (gr)

$M_2$ : Yassılık indeksi şablonundan geçen toplam malzeme ağırlığı (gr)

**Çizelge 3.4.** Yassılık indeksi deneyine alınan malzeme miktarları (Demirel vd. 2012)

Elek Açıklığı (mm)	Minimum Malzeme Miktarı (kg)
37.5-25	8
25-19	2.5
19-12.5	1
12.5-9.5	0.5
9.5-6.3	0.25



**Şekil 3.5.** Yassılık indeksi deney şablonu

### 3.1.1.5. Metilen mavisi deneyi

TS EN 933-9 standardına göre yapılan metilen mavisi deneyinin amacı, agreganın 2 mm göz açıklı elekten geçen ince tanelerin içinde bulunan kil içeriğinin belirlenmesidir.

KA ve BAA'dan, 0-2 mm dane çapı aralığında en az 200 gr her bir malzemeden iki farklı numune hazırlanmıştır. Numuneler etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulup tartılmıştır (M1).

- i) 500 ml'lik damıtık su behere konmuş ve kurutulan 200 gr ( $M_1$ ) numune eklenmiştir.
- ii) Şekil 3.6'de verilen deney düzeneğindeki karıştırıcı ile 600 devir/dakika hızda 5 dakika süreyle karıştırılmıştır.
- iii) Karıştırmadan sonra behere daha önceden hazırlanan 5 ml metilen mavisi boya çözeltisi ilave edilmiştir. Beherdeki malzeme 400 devir/dakika hız ile 1 dk karıştırılmıştır.
- iv) Karıştırmadan sonra süzgeç kağıdının üzerine bir damla bırakılmıştır. Damlanın etrafında en az 1 mm açık mavi hale meydana gelmelidir. Eğer hale oluşmazsa 5 ml daha boya çözeltisi ilave edilip 1 dakika karıştırmaya devam edilir. Hale görülünceye kadar karışıma çözelti ekleme ve süzgeç kağıdına damla bırakma işlemine devam edilmiştir.
- v) Eğer hale oluşmuşsa hale ilk 4 dakika sürede kaybolursa, 5 ml daha çözelti eklenir.
- vi) Hale, beşinci dakikada kaybolursa, 2 ml daha çözelti eklenir. Her iki durumda da hale, 5 dakika süreyle kaybolmayana kadar deneye devam edilir.
- vii) Halenin 5 dk boyunca kaybolmadığı an karışıma ilave edilen metilen mavisi çözeltisinin hacmi ( $V_1$ ) kaydedilmiştir.
- viii) Metilen mavisi oranı eşitlik (3.9) ile hesaplanmıştır.



Şekil 3.6. Metilen mavisi deney düzeneği

$$\text{Metilen Mavisi Değeri (Mb)} = \frac{V_1}{M_1} * 100 \quad (3.9)$$

Denklemdede:

$M_1$  = Deneysel numunesinin kütlesi (gr)

$V_1$  = İlave edilen boya çözeltisinin toplam hacmi (ml)

### 3.1.1.6. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi ( $MgSO_4$ deneyi)

BAA ve KA malzemelerinin magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisine karşı direnci TS EN 1367-2 standardına göre belirlenmiştir. Deneysel, agrega numunelerinin magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisi içine tekrarlı daldırılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Deneysel, dane boyutları 10 ile 14 mm elek arasında kalan agregalara uygulanmıştır. Deneysel numuneleri iyice yıkanmış ve 24 saat  $110 \pm 5$  °C'lik etüvde kurutulmuştur. Fırında kurutulmuş malzemeler tekrar 10 mm ile 14 mm elek arasında elenmiş ve tel sepetlere koyulmuştur (Şekil 3.7a). Deneysel için kullanılan agrega boyutları ve ağırlıkları, Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Dayanıklılık deneyi için kaba agrega sınıflandırma

Agrega Çeşitleri	Elek Boyutu (mm)		Ağırlıkları (gr)
	Geçen	Kalan	
Kalker agrega	14	10	$420 \pm 0.1$
Beton atık agrega	14	10	$430 \pm 0.1$

Her numune hazırlanmış Şekil 3.7b'de gösterildiği gibi bir magnezyum sülfat çözeltisi kap içerisine daldırılmıştır (Çözelti  $25-30$  °C aralığında olan 1 litre su için, 1500 gram magnezyum sülfat tuzun yavaş yavaş ilave edilmesi ile hazırlanmıştır). Daha sonra kaplardaki çözeltilerin sıcaklığını ( $20 \pm 2$ ) °C'de tutacak şekilde su banyosunda  $17 \pm 0,5$  saat süre boyunca bekletilmiştir (Şekil 3.7c). Agregalar 17 saat sonra, çözeltiden çıkartılmış ve 2 saat boyunca süzölmüştür. Numuneler 24 saat  $110 \pm 5$  °C'lik etüvde kurutulmuş ve daha sonra oda sıcaklığında 5 saat soğumaya bırakılmıştır. Daldırma ve kurutma döngüsü 5 kez tekrarlanmıştır. Beşinci döngüden sonra, numuneleri üzerindeki magnezyum sülfat çözeltisinden arındırmak için iyice yıkanmıştır (Şekil 3.7d). Yıkanan numuneler sabit bir kütle gelinceye kadar etüvde kurutulmuştur. Daha sonra kuruyan numuneler 10 mm'lik elekten elenmiş ve elek üstünde kalan numuneler tartılıp ağırlıkları kaydedilmiştir. (3.10) eşitliği ile her iki ayrı numune için donma kaybı yüzdeleri hesaplanmıştır.

$$\text{Donma Kaybı (\%)} = \frac{A-B}{A} * 100 \quad (3.10)$$

Burada;



A: İlk kuru ağırlık (gr)

B: Son kuru ağırlık (gr)



**Şekil 3.7.** a) Numunelerin tel sepetlere konulması; b) Tel sepetlerin magnezyum sülfat çözeltisine konulması; c) Magnezyum sülfat çözeltili kabın su banyosunda bekletilmesi; d) Deney sonucunda numunelerin magnezyum sülfat çözeltisinden arındırılması için yıkanması

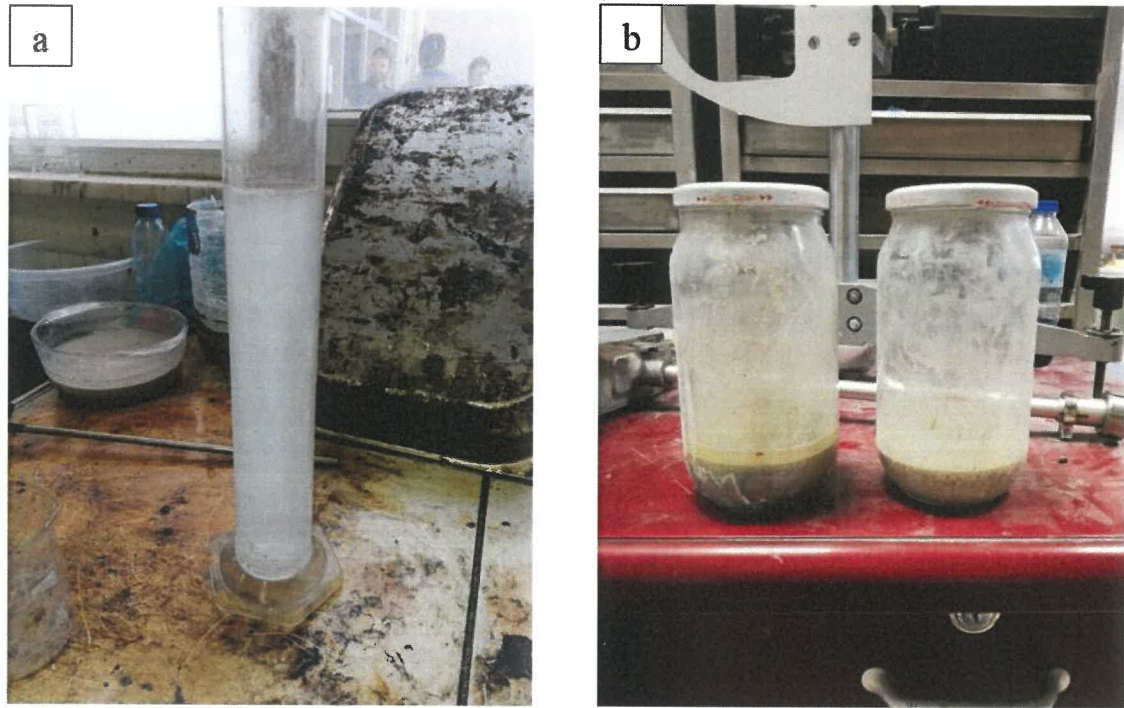
### 3.1.1.7. Zararlı maddelerin belirlenmesi için organik madde tayini

Bu deney, TS EN 1744 - 1 standardına göre agrega içerisindeki bitki atıkları ve humus gibi zararlı maddelerin belirlenmesi için yapılmıştır. Bu zararlı maddeler yol üst yapısına zarar vererek yolda çatlamalara sebep olabilirler. Deney numuneleri 8 mm açıklı elekten elenmiştir. Elek altından alınan agrega numunesi, ölçülü cam silindirin 130 ml işaret çizgisine kadar doldurulmuştur ve üstüne 200 ml çizgisine kadar hazırlanan %3'lük sodyum hidroksit çözeltisi ilave edilmiştir (%3'lük sodyum hidroksit çözeltisi, 1 lt suda 30 gr sodyum hidroksit çözmek suretiyle hazırlanır) (Şekil 3.8a). Ağzı sıkıca kapatılarak 1 dk boyunca çalkalanmıştır. Daha sonra karanlık bir yere bırakılarak 24 saat bekletilerek sıvı kısmın rengindeki değişime bakılarak zararlı madde olup olmadığına bakılmıştır (Şekil 3.8b). Deneyde sıvı renginin renksizden açık sarıya kadar olması

halinde organik madde miktarının önemli derecede bulunmadığına karar verilebilir. Agregada hakkında nasıl karar verileceği Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

**Çizelge 3.6.** Agregada organik madde referans renkleri (T.C Milli Eğitim Bakanlığı 2011)

Eriyik Rengi	Organik Madde	Agreanın Kullanımı
Renksiz veya çok açık sarı	Hiç yok veya çok az var	Kaliteli, beton üretiminde kullanılabilir.
Safran sarısı	Az miktarda var	Normal işler için uygun
Belirgin kırmızı	Var	Önemsiz işlerde kullanılabilir.
Belirgin kahverengi	Çok var	Kullanılmaz



**Şekil 3. 8. a) NaOH Çözeltisinin hazırlanması; b) Çözeltiye numunelerin koyulması**

### 3.2. Metot

#### 3.2.1. Karışım oranları

Tez çalışmasının bu bölümünde KA ile BAA malzemeleri KTŞ 2013 alttemel TİP B gradasyon limitleri kapsamında belirli oranlarda karıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin karışım oranları Çizelge 3.7'de verilmiştir. Bu numunelere Modifiye Proktor, CBR ve donma çözülme deneyleri uygulanmıştır. Yapılan

deneyler KTŞ 2013’de belirtilen standartlara göre yapılmış ve elde edilen değerlerin şartnamedeki sınır değerler ile uygunlukları incelenmiştir.

**Çizelge 3.7. BAA+KA Karışım oranları**

Karışımda Ağırlıkça Kullanım Oranı (%)		Karışım Toplam (%)
BAA	Kalker Agregası	
0	100	100
10	90	100
15	85	100
20	80	100
25	75	100
50	50	100

### 3.2.2. Modifiye Proktor deneyi

Modifiye Proktor deneyi, numunenin optimum su içeriğini ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını belirlemek için TS 1900-1 standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Her bir deney için 6 kg’lık numuneler hazırlanmış, numunelerin homojen bir şekilde karışması sağlanmıştır (Şekil 3.9a). Deneye belli bir su içeriği ile başlanmış ve su içeriği artırılarak devam edilmiştir. Numuneler, 152.4 mm çapındaki kalıpta beş eşit tabaka halinde, her tabakaya 4.5 kg’lık tokmak ile 45 cm yükseklikten 56 darbe uygulanarak sıkıştırılmıştır (Şekil 3.9b). Sıkıştırma işleminden sonra, kalıbın ilave yakası çıkartılıp numunenin üst kısmı düzeltilmiştir (Şekil 3.9c). Yaş numune, kalıp ile tartılarak toplam ağırlığı belirlenmiştir. Su içeriğinin tespit edilebilmesi için sıkıştırılan her numuneden yaş numune örneği alınıp tartılmıştır. Yaş numuneler  $110 \pm 5$  °C’lik etüvde 24 saat kurutulup ağırlıkları kaydedilmiştir (Şekil 3.9d). Bu şekilde numunelere uygun artırımlarda su katılarak aynı işlemler en az 5 defa tekrarlanmıştır. Numunelerin su içeriği ve kuru birim hacim ağırlık değerleri hesaplanıp, bulunan bu değerler ile Modifiye Proktor eğrisi çizilmiştir. Bu eğrinin tepe noktasına gelen su muhtevası optimum su içeriğini, birim hacim ağırlık ise maksimum kuru birim hacim ağırlığını vermektedir.





**Şekil 3.9. a) Malzemelerin homojen bir şekilde karıştırılması; b) Tokmak ile sıkıştırma işlemi; c) Kalıp ile yaş numunenin ağırlığının kaydedilmesi; d) Su içeriğinin belirlenmesi için yaş numune örneklerinin etüvde kurutulması**

### 3.2.3. Yaş CBR deneyi (Yaş Kaliforniya taşıma oranı)

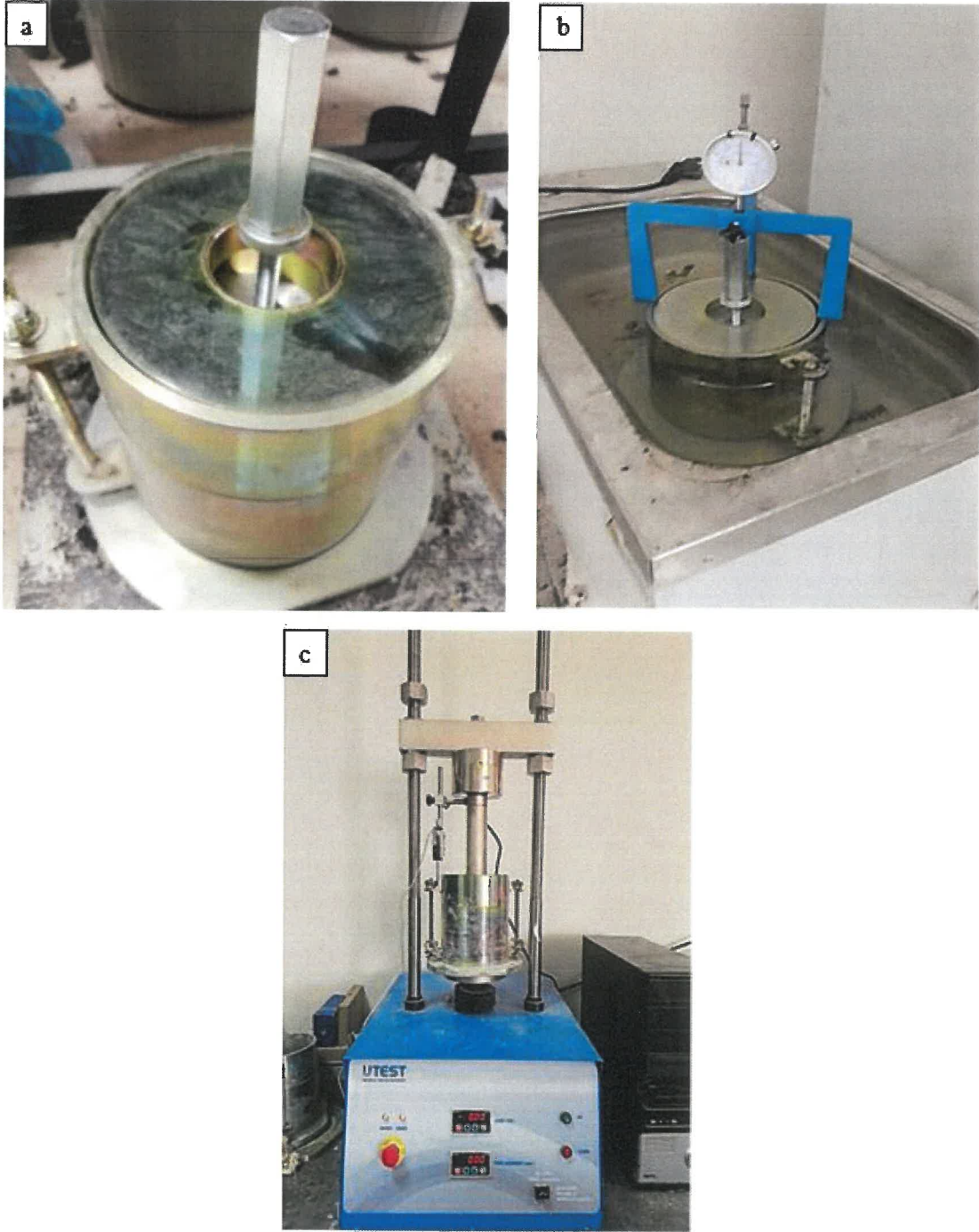
CBR (The California Bearing Ratio/Kaliforniya taşıma oranı) deneyi, zeminin taşıyabileceği kesme kuvvetini ölçme esasına dayanır. Bu deney TS 1900-2 standardına uygun olarak kesit alanı 19.35 cm<sup>2</sup> olan silindrsel bir pistonun 1.27 mm/dk hızla sıkıştırılmış zemine itilerek elde edilen yük-penetrasyon batmasının bulunmasını kapsar (Demirel vd. 2012). Deney, KA malzemesine kıyasla BAA malzemesinin yol tabakalarında alt temel malzemesi olarak kullanıldığında performansını değerlendirmek için yapılmıştır.

Modifiye Proktor deneyi ile bulunan optimum su içeriklerinde, her bir numune için ayrı ayrı iki tane 6'şar kg'lık numune hazırlanmıştır. 15.24 cm çapında olan CBR kalıbının tabanına delikli metal disk ve bu diskin üzerine filtre kağıdı konulmuştur. CBR kalıbına numune 5 tabaka halinde konulmuştur. Her tabakaya 4.5 kg'lık tokmak ile 45 cm yükseklikten 56 vuruş yapılarak sıkıştırma işlemi tamamlanmıştır. Numune üzerine tahmini yük değerine göre ağırlıklar konulmuştur (Şekil 3.10a). Ağırlık 4.5 kg'dan az olmaması gerekmektedir (Demirel vd. 2012). Sıkıştırılan numune 4 gün suda bekletilmiştir (Şekil 3.10b). Bu süre içinde numunedeki kabarma okumaları her 24 saatte bir numune üzerine takılan gösterge ile okunmuştur. Son kabarma okumasından sonra numunenin şişme yüzdesi (3.11)'de verilen denklem ile bulunmuştur.

$$\text{Şişme Yüzdesi (\%)} = \frac{\text{Islatma sonundaki kabarma miktarı (mm)}}{116.4} * 100 \quad (3.11)$$

4 gün suda bekleme süresi tamamlandıktan sonra numune sudan çıkartılıp 15 dakika süre ile süzölmeye bırakılmıştır. Şekil 3.10c'de gösterilen CBR test cihazı ile her bir numune penetrasyon pistonunda yüke tabi tutulmuştur. 2.50 mm ve 5.00 mm penetrasyona karşılık gelen yükler sırasıyla 70.31 kg/cm<sup>2</sup>, 105.46 kg/cm<sup>2</sup>'lik standart basınç değerlerine bölünür ve 100 ile çarpılarak taşıma oranları bulunmaktadır. Karışımın CBR değeri, bulunan iki değerden en büyük olanı kabul edilir. Numunelerin CBR değerleri eşitlik (3.12) ile hesaplanmıştır.

$$\text{CBR (\%)} = \frac{\text{Düzeltilmiş Basınç}}{\text{Standart Basınç}} * 100 \quad (3.12)$$



**Şekil 3.10.** a) Numune üzerine ağırlık konulması b) Deneş numunesinin küre bırakılması; c) Kaliforniya taşıma gücü (CBR) deneş aleti

#### 3.2.4. Donma çözölme deneş

Donma çözölme testleri soğuk bölgelerde yapılan uygulamalar için önemlidir. Bu testlerden elde edilen bulgular dönme ve çözölme döngülerinin CBR performansı üzerindeki etkisi hakkında bilgi vermektedir. Bu çalışmada alttemel malzemesi kontrol numunesi (%100 KA) ve (%50 BAA-%50 KA)'den oluşan numune donma kabinde donma-çözölme işlemeş tabi tutularak donma çözölme etkisi altında CBR taşıma gücü

değişimi araştırılmıştır. Donma-çözülme testi sonuçlarını etkileyen ana faktörler şunlardır: donma sıcaklığı, süresi ve donma – çözülme döngüsü sayısıdır.

STEP NO	RAMP	TEMPERATURE	HELD	STEP NO	RAMP	TEMPERATURE	HELD
1	90 min	3.0°C	480 min	9	0 min	0.0°C	0 min
2	5 min	3.0°C	480 min	10	0 min	0.0°C	0 min
3	5 min	3.0°C	480 min	11	0 min	0.0°C	0 min
4	90 min	-3.0°C	480 min	12	0 min	0.0°C	0 min
5	110 min	-12.0°C	480 min	13	0 min	0.0°C	0 min
6	5 min	-12.0°C	480 min	14	0 min	0.0°C	0 min
7	150 min	12.0°C	480 min	15	0 min	0.0°C	0 min
8	5 min	12.0°C	480 min	16	0 min	0.0°C	0 min

Şekil 3.11. Donma çözülme döngüsü

Numuneler Modifiye Proktor deneyi ile elde edilen optimum su içerikleri ile CBR kalıplarında sıkıştırılarak hazırlanmış ve 4 gün suda suya doymun hale getirilmiştir. Her bir karışımdan iki tane numune hazırlanmıştır. Bu çalışmada donma çözülme kabini ASTM D5918’de verilen sıcaklık koşullarına göre ayarlanmıştır. Deney numuneleri donma çözülme kabiniinde sırasıyla 24 saat +3°C’de, 8 saat -3°C’de,16 saat -12°C’de ve 16 saat +12°C’de bekletilmiştir (Şekil 3.11). Deney numuneleri iki kez bu donma – çözülme döngüsüne maruz bırakılmış, donma-çözülme öncesi ve sonrası CBR taşıma gücü oranları karşılaştırılmıştır.



#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

##### 4.1. Alttemelde Kullanılması Planlanan Agregalara Uygulanan Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar

Deneysel çalışmanın bu bölümünde BAA ve KA numunelerine yapılan deneylerin sonuçları KTŞ 2013’de verilen limit değerler ile karşılaştırılmıştır.

##### 4.1.1. Kaba ve ince agregalar için özgül ağırlık ve su emme oranının tayini deney sonuçları

Bu bölümde, çalışmada kullanılan tüm malzemelerin özgül ağırlık ve su emme değerleri verilmiştir. Malzemelerin hem kaba hem de ince danelerin özgül ağırlık ve su emme değerleri, Çizelge 4.1’de gösterildiği gibi belirlenmiştir.

**Çizelge 4.1.** İri ve ince daneli agregaların özgül ağırlık ve su emme deney sonuçları

Agrega Boyutları		Dane	Özellikler	KA	BAA	Limit Değer
Geçen	Kalan					
19	9.5	Zahiri özgül ağırlığı	2.69	2.64	≤3.5	
		Özgül ağırlık	2.67	2.2		
		Absorbsiyon (%)	0.29	7.2		
9.5	4.75	Zahiri özgül ağırlığı	2.7	2.68	≤3.5	
		Özgül ağırlık	2.68	2.33		
		Absorbsiyon (%)	0.3	6.2		
4.75	2	Zahiri özgül ağırlığı	2.7	2.66	≤3.5	
		Özgül ağırlık	2.65	2.41		
		Absorbsiyon (%)	0.9	6.3		
2	0.425	Zahiri özgül ağırlığı	2.72	2.63	≤3.5	
		Özgül ağırlık	2.62	2.4		
		Absorbsiyon (%)	1.44	5.9		



**Çizelge 4.1**'in devamı

0.425	0.075	Zahiri özgül ağırlığı	2.65	2.6	≤3.5
		Özgül ağırlık	2.50	2.37	
		Absorbsiyon (%)	2,5	5.8	

**Çizelge 4.2.** Numunelerin ortalama özgül ağırlık ve su emme değerleri

Numune	Zahiri özgül ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	Hacim özgül Ağırlığı	Su emme
Kalker agregası	2.7	2,63	1
Beton atık agregası	2,64	2,34	6.3

Çizelge 4.2'den KA malzemesinin ortalama özgül ağırlığının 2.7, BAA malzemesinin ortalama özgül ağırlığının 2.67 olduğu görülmektedir. BAA malzemesinin absorpsiyonu, kalker agregalara kıyasla yaklaşık 6 kat artış göstererek %6.3 olduğu belirlenmiştir. Agregaların su emme miktarı agreganın özelliklerini etkileyen önemli parametrelerden bir tanesidir. Yüksek su emme özelliğine sahip agregalar donma-çözülme sürecinde parçalanıp dayanımında azalmalara sebep olacağından dolayı su emme oranının düşük olması gerekmektedir. BAA'nın su emme değeri KTŞ 2013'de istenilen şartname limit değerini sağlayamamıştır. Bu sebepten dolayı BAA tek başına alttemel tabakasında kullanılması durumunda zeminin dayanımını düşürmesi beklenmektedir. BAA'nın düşük özgül ağırlık ve yüksek su emme değerlerinin, BAA'nın çok gözenekli bir yapıya sahip olması ve üzerindeki harç kalıntılarının varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### 4.1.2. Yassılık indeksi sonuçları

Yassı agregalar trafik yükleri altında daha çabuk kırılıp üstyapının dayanımını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle KTŞ 2013'de alttemel tabakası için agregaların yassılık oranı için limit değer %30 verilmiştir. Tez çalışmasında beton atık kaba agregalardaki yassılık indeksi değerleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar doğal agregaların yassılık indeksi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

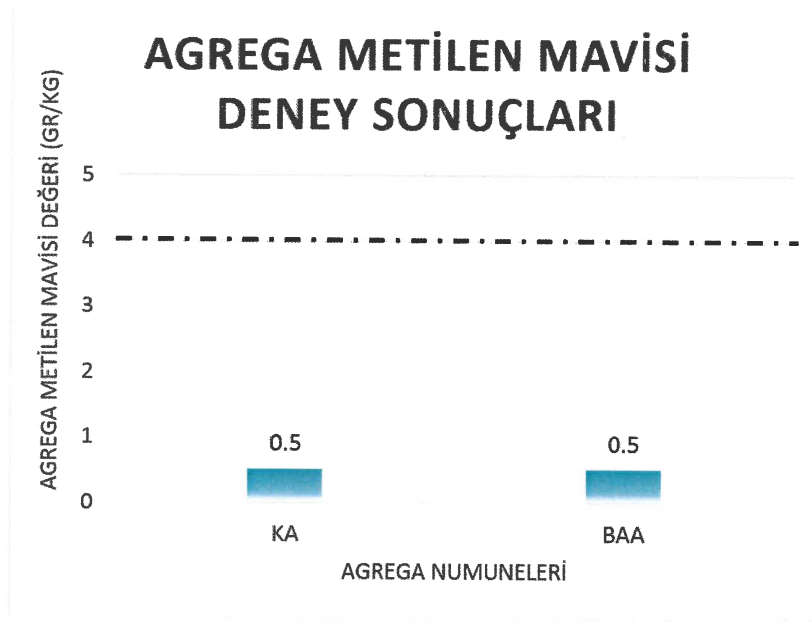
**Çizelge 4.3.** Kaba agregaların yassılık indeksi deney sonuçları

Agrega boyutları		Deney numunelerinin farklı dane boyutlarındaki yassılık indeksi değerleri (%)		Alttemel için KTŞ 2013 şartname sınır değeri
Geçen	Kalan	KA	BAA	
37.5	25	34	10	≤30
25	19	0.5	5	
19	12.5	16	8	
12.5	9.5	15	14	
9.5	6.3	12.5	10	
Ortalama değer (%)		15.6	9.4	

BAA'nın yassılık indeksi, %15.6 olan KA'ya kıyasla %9.4 olarak bulunmuştur. BAA'nın yassılık indeks değerinin daha düşük bir değer çıkmasının sebebi, BAA üzerindeki harcın eski olması, konkasör ile kırılma esnasında agrega çapları dağılımında düzensizlikler oluşturduğu düşünülmektedir. Bu araştırmada, elde edilen yassılık indeksi değerleri, KTŞ 2013 limit sınır değerlerini sağlamaktadır.

#### 4.1.3. Metilen mavisi deney sonuçları

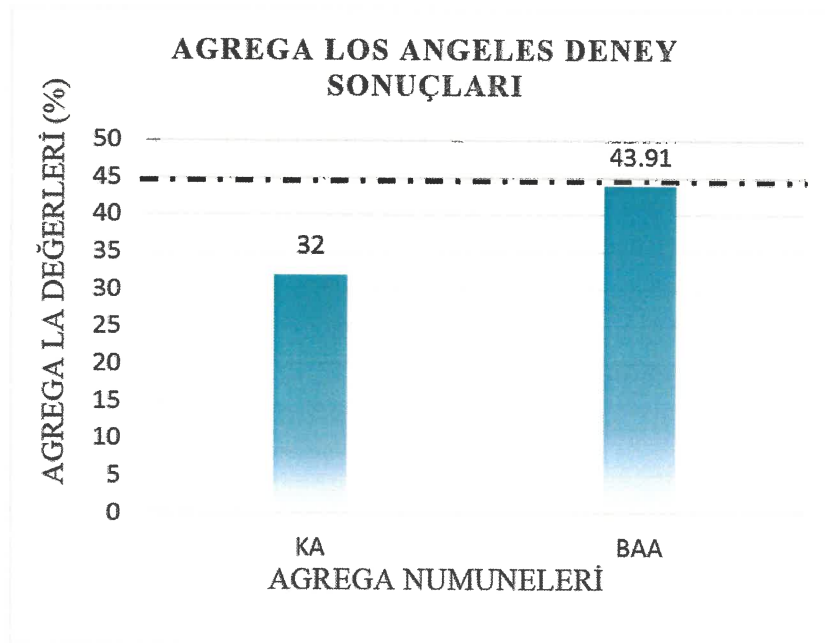
Beton atık agregaya ve kalker agregaya için metilen mavisi değerleri ile KTŞ 2013 limit değerleri tabloda verilmiştir. Deneyin sonucunda hem beton atık agregaya hem de kalker agregaya metilen mavisi değerleri KTŞ 2013'de istenilen limit değeri olan 4 değerini sağlamıştır (Şekil 4.1). Harcın içinde kil bulunmadığı için BAA malzemesi temiz çıkmıştır.



**Şekil 4.1.** Metilen mavisi deney sonuçları

#### 4.1.4. Los Angeles aşınma deney sonuçları

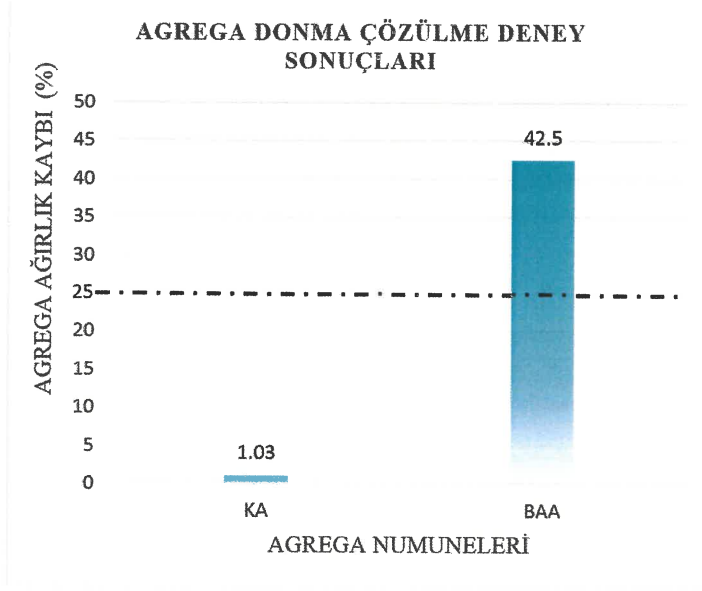
Yol üstyapısında kullanılan agregalar sağlam ve aşınmaya karşı dirençli olmalıdır. BA ve KA numunelerine yapılan Los Angeles aşınma deney sonuçları Şekil 4.2' de verilmiştir. BAA malzemesinin aşınma oranının kalker agregadan daha fazla çıkmasının sebebi BAA malzemesinin yüzeyindeki harç kalıntılarının kolay parçalanmasıdır. KTŞ 2013'de alttemel malzemesi için istenilen şartname sınır değer %45'dir. Her iki agreganın da aşınma oranları KTŞ 2013 şartname sınır değerlerini sağladığı görülmektedir.



**Şekil 4.2.** Los Angeles aşınma deney sonuçları

#### 4.1.5. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi sonuçları (MgSO<sub>4</sub>)

Bu deney yönteminde amaç, yol üstyapısında kullanılacak malzemelerin olumsuz hava koşulları altında donma ve daha sonra çözülmeye karşı dayanımındaki değişim hakkında bilgi vermektir. Şekil 4.3'de elde edilen donma kayıp yüzdeleri ve KTŞ 2013 limit değeri (25) verilmiştir.



Şekil 4.3. Agregada donma-çözülme deney sonuçları

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen donma kayıp değerleri, KA ve BAA için sırasıyla 1.03 ve 42.3 olarak belirlenmiştir. KA'nın şartnamede belirtilen sınır değeri sağladığı, BAA malzemenin ise şartname sınır değerinden çok yüksek çıktığı görülmektedir. Yüksek çıkmasının sebebini BAA malzemesinin su absorpsiyonunun yüksek olduğu için donma çözülme etkisi ile agregada danelerinin parçalanmaya maruz kalmasıdır. Agregaların bu şekilde parçalanması dayanımın düşmesine neden olacağı için donma karşı dayanıklı olmaları istenmektedir. Dolayısıyla BAA malzemesinin %100 oranında alt temel tabakasında kullanılması zeminin stabilitesinde bozulmalara neden olacağı düşünülmektedir.

Elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında, Çağrııcı (2016) tarafından yapılan benzer bir çalışmada, farklı kaynaklardan elde edilen beton atık için donma karşı dayanıklılık değeri %38 olarak bulunmuştur. Kabayashi ve Kawononun (1999) yaptıkları çalışmada ise %31.5 bir yüzdelik kayıp değeri bulmuşlardır.

#### 4.1.6. Organik madde tayini deney sonucu

Yol inşaatında organik kökenli zararlı maddelerin varlığı yolda pürüz, boşluk ve çatlamlara neden olacağı için, bu maddelerin yol malzemesinde bulunmaması gerekmektedir. Bu nedenle, KTŞ 2013'de ince agregada organik madde bulunmaması gerektiği belirtilmektedir.

Yapılan deney sonucunda KA malzemesinde renk değişimi gözlenmemiş olup, bu agrega tipinde organik madde bulunmadığı belirlenmiştir. BAA malzemesinde ise açık sarıya dönük bir renk değişimi gözlenmiş, organik maddelerin önemli miktarda bulunmadığı sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak her iki numunede de KTŞ 2013’de istenilen şartı sağladığı gözlemlenmiştir.

#### 4.1.7. Alttemel malzemesi agrega deney sonuçlarının özeti

Alttemel malzemesi agrega deney sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Alttemel malzemesi agrega deney sonuçları

Deneyler	Birim	Kalker Agrega	Beton Atık Agrega	Karayolu
				Teknik Şartnamesi Alttemel
Hacim özgül Ağırlık	gr/cm <sup>3</sup>	2.63	2.34	-
Yassılık İndeksi	%	15.6	9.4	Mak. 35
Absorbsiyon	%	1	6.3	Mak. 3.5
Aşınma Kaybı (Los Angeles)	%	32	43.91	Mak. 45
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, MgSO <sub>4</sub> ile Kayıp	%	1.03	42.5	Mak. 25
Metilen Mavisi	%	0.5	0.5	Mak. 4
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	-	Negatif	Negatif	Negatif

Sonuçlar incelendiğinde BBA malzemesi KA malzemesine kıyasla Absorbsiyon ve Magnezyum Sülfat Donma Kaybı değerleri oldukça yüksek çıkmış ve KTŞ 2013’de alttemel için istenilen değeri sağlayamamıştır. Dolayısıyla BAA malzemesinin alttemel tabakasında tek başına kullanılmayacağı belirlenmiştir. BAA malzemesinin Los Angeles aşınma değeri KA malzemesine göre daha yüksek ve yassılık indeksi değerine göre daha düşük çıkmıştır.

#### 4.2. Alttemel tabakasına uygulanan deneylerin sonuçları

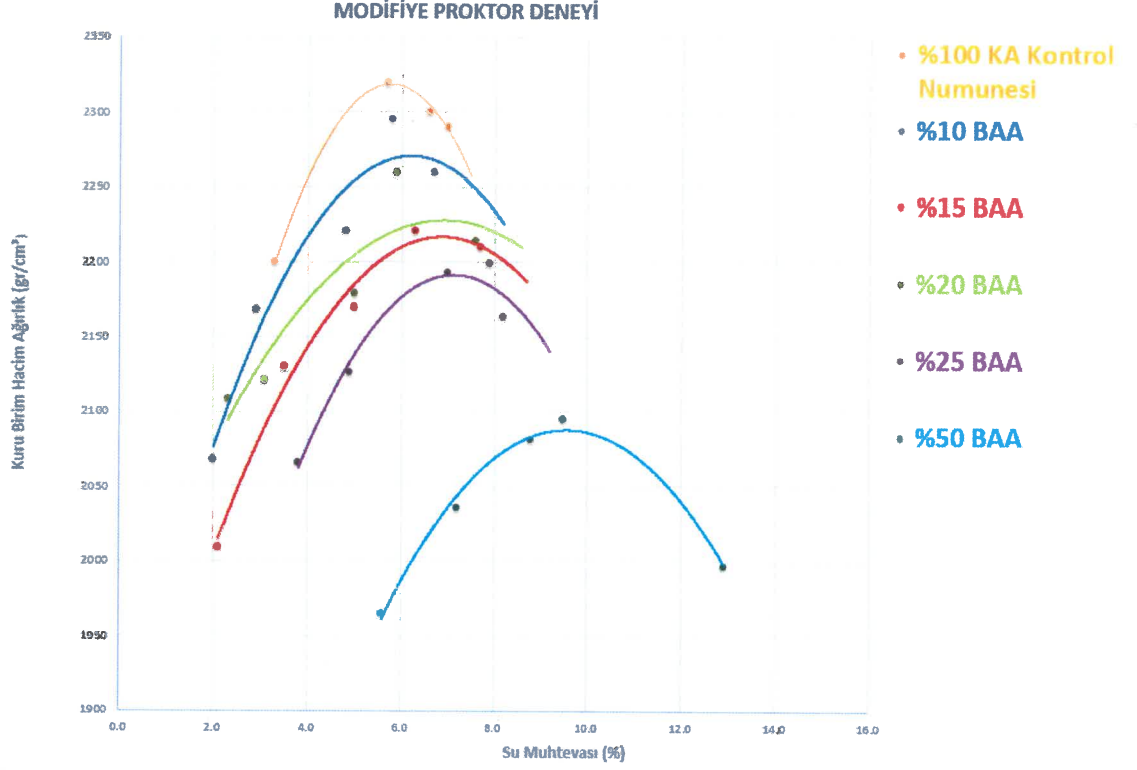
Yapılan agrega deneyleri sonucunda BAA malzemesi özelliklerinden su emme ve hava tesirlerine karşı donma değerleri, alttemel malzemesi KTŞ 2013’de istenilen limit değerleri karşılayamamaktadır. Bu nedenle alttemel karışım dizaynında BAA malzemesine ilave olarak KA kullanılmıştır.

İlk olarak %0 oranında BAA kontrol numunesi hazırlanmıştır. Daha sonra toplam ağırlığın BAA malzemesi %10, %15, %20 ve %25 oranlarında alınarak numuneler hazırlanmıştır. Her bir numuneye ayrı ayrı Modifiye Proktor ve CBR deneyleri yapılmıştır. Karışımların CBR taşıma gücü değerleri KTŞ 2013’de alttemel için istenilen sınır değer çok üstünde yani oldukça olumlu sonuçlar vermiştir. Bu sebeple karışım içerisindeki BAA oranı %25’den %50’ye yükseltilerek, geri dönüşüm malzemesinin alttemelde kullanılabilirliği daha ileri düzeydeki deneyler de eklenerek tekrar araştırılmıştır. İlk olarak BAA malzemesi su emme ve hava tesirlerine karşı dayanıklılık değerleri şartname sınır değerleri sağlamadığı için ağırlıkça %50 BAA oranında hazırlanan karışıma, su emme ve hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyleri yapılmıştır. Daha sonra %0 yani BAA ilave edilmemiş kontrol numunesinin ve %50 BAA- %50 KA karışım numunesinin olumsuz hava koşulları altında dayanımındaki değişimi belirlemek için numuneler donma çözülme deneyine tabi tutulmuştur. Her iki numunenin donma-çözülme öncesi ve sonrası CBR değerlerindeki değişim karşılaştırılmıştır.

##### 4.2.1. Modifiye Proktor deney sonuçları

Hazırlanan 6 farklı geri dönüştürülmüş alt temel karışımları ve kontrol karışımı için su içerik ve kuru birim hacim ağırlık ilişkileri, Şekil 4.4’de gösterilmektedir. Optimum su içerikleri ve karşılık gelen maksimum kuru birim hacim ağırlıklar, Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4’de gösterildiği gibi, %100 KA içeren alttemel malzemesinin optimum nem içeriği %5.9 ve maksimum kuru birim ağırlığı  $2.320 \text{ gr/cm}^3$  olarak tespit edilmiştir. Alttemel malzemesinde kütlece BAA içeriği arttıkça optimum su içeriklerine artma, maksimum kuru birim hacim ağırlıklarında azalmalar görülmüştür. BAA’nın daha yüksek absorpsiyonu BAA alttemel malzemesinin optimum su içeriğinde artışa ve dolayısıyla KA ile karşılaştırıldığında daha düşük bir maksimum kuru birim hacim ağırlığa neden olmuştur.



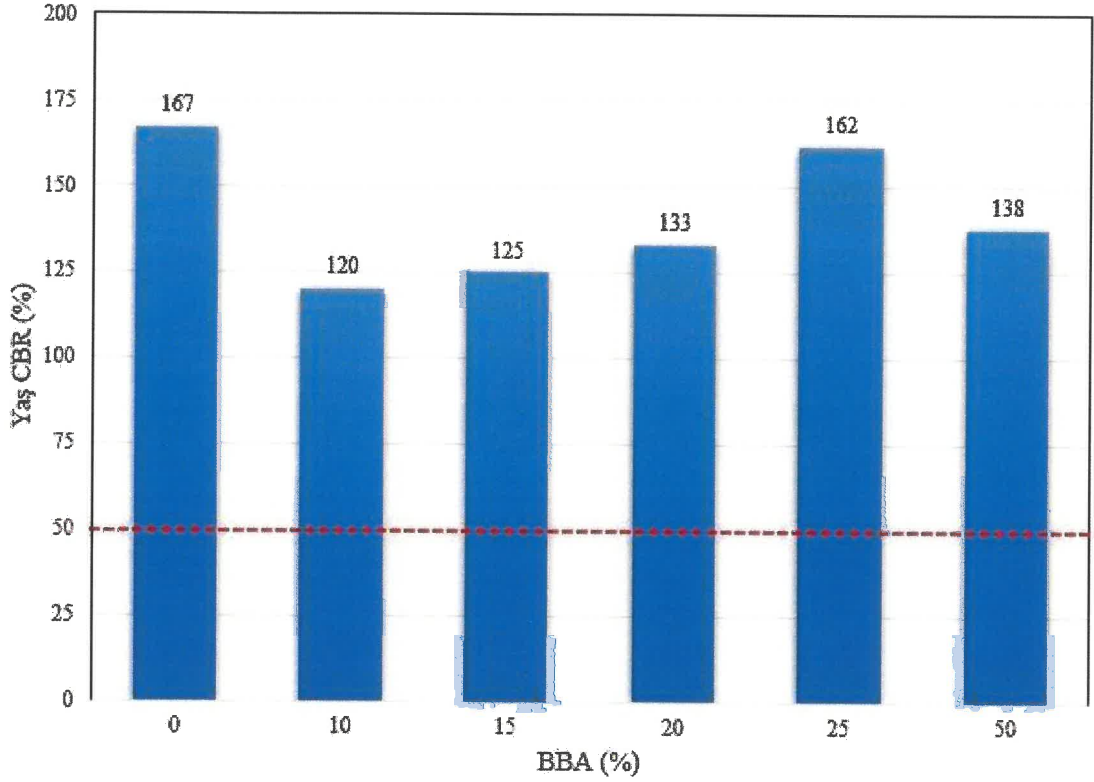
**Şekil 4.4.** Alttemel karışım numunlerinin nem-yoğunluk ilişkisi

**Çizelge 4.5.** Alt temel malzemesi karışımları için optimum su içeriğinin ve maksimum kuru birim hacim ağırlığının özeti

Karışım No	Karışım İçerikleri		Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlığı	Optimum Su Muhtevası (w)
	BAA	KA		
1	%0	%100	2,320	5,9
2	%10	%90	2,271	6,21
3	%15	%85	2,216	6.84
4	%20	%80	2.228	7.01
5	%25	%75	2,19	7,16
6	%50	%50	2,088	9,54

#### 4.2.2. Yaş CBR Deney Sonuçları

Modifiye Proktor deneyinden sonra her bir karışım numunesi için elde edilen optimum su içeriklerinde hazırlanan numuneler 4 gün suda bekletilmiştir. Daha sonra numunelere CBR deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Yaş CBR deney sonuçları

Yapılan deney sonucunda kalker agrega kullanılan alttemel kontrol numunesinin, en yüksek CBR değerine (%167) sahip olduğu Şekil 4.5’de görülmektedir. %10 BAA, %15 BAA, %20 BAA, %25 BAA ve %50 BAA karışımları sırasıyla %120, %125, %133, %162 ve %138 CBR değerlerine sahiptir. BAA’lı numunelerin CBR değerlerinde genel olarak kontrol numunesine göre azalmalar görülmüştür. Buradan elde edilen değerler Modifiye Proktor ile elde edilen değerler ile birbirini desteklemektedir. Ayrıca karışım içindeki beton atık agregalarının, yük altında daneler üzerinde bulunan harç kalıntılarının kolay parçalanarak taşıma gücünün azalmasına sebep olmuştur. Dolayısıyla BAA içerikli alttemel malzemesi, KA malzemesine kıyasla daha düşük dayanımlı olacaktır ancak böyle bir alttemel yine de aşırı deformasyon ve bozulma olmadan trafik yüklerini taşıyabilecektir. Tüm karışımlar KTSŞ 2013’deki alttemel sınır değeri olan %50 şartını sağlamaktadır. CBR sonrası numunenin görünümü Şekil 4.6’da gösterilmiştir.





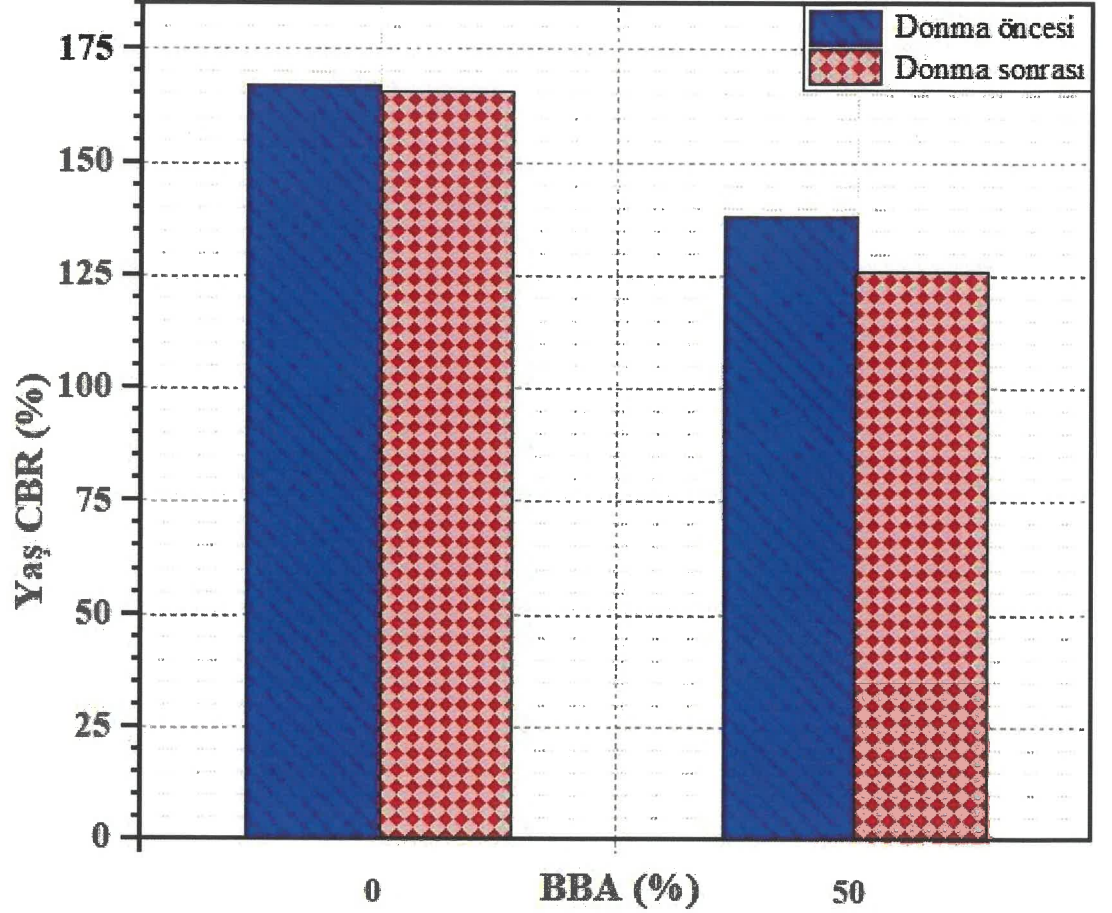
Şekil 4.6. CBR deney sonrası numunenin genel görünümü

#### 4.2.3. Karışım agrega numunesine yapılan dona karşı dayanıklılık ( $MgSO_4$ ) deneyinin sonucu

Bu tez çalışmasında alttemel malzemesi olarak kullanılan BAA'nın dona karşı dayanıklılık değeri (42.5), KTŞ 2013'de belirtilen limit değeri (25) sağlayamamaktadır. Dolayısıyla BAA'nın tek başına alttemel agregası olarak kullanımı, alttemelin dayanımını olumsuz etkileyeceği düşünülmektedir. Bu çalışma karışıma ağırlıkça %50 oranında BAA ilave edilmiştir. Bu durumda karışımın dona karşı dayanıklılık deneyinden elde edilen değer 20.5 olarak belirlenmiştir. Bu değer KTŞ 2013'deki limit değere yakın bir değer çıkmıştır. Bu nedenle karışıma %50'den fazla BAA ilave edilmemiştir.

#### 4.2.4. Donma çözülme öncesi ve sonrası numunelerin CBR deney sonuçları

Kontrol numunesi (%100 KA) ve (%50 BAA-%50 KA) karışım numunesinin donma çözülme çevrimlerinden sonraki taşıma kapasitesindeki değişimi incelemek için CBR deneyleri yapılmıştır. Numunelerin donma- çözülme döngüsünden sonra CBR değerleri, ilk nem içeriği ve yoğunlukta belirlenen CBR değerine kıyasla azalmıştır. Numunelerin donma çözülme etkisi altında CBR değerlerindeki değişim Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Donma-çözülme öncesi ve sonrası CBR oranı değişimi

Şekil 4.7’de (%50 BAA- %50 KA) karışım numunesinin %100 KA kontrol numunesine kıyasla taşıma gücünde daha fazla bir düşüş gözlemlenmiştir. Bunun sebebi donma-çözülme periyotlarında BAA danelerinin, yapısal zayıflıklarından dolayı parçalanmaya maruz kalmasıdır. Ayrıca bir diğer sebep olarak da ağırlıkça %50 oranında hazırlanan BAA numunesine yapılan dona karşı dayanıklılık deneyi ( $MgSO_4$ ) ile elde edilen donma kayıp yüzdesinin şartnameye yakın bir değer çıkması olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak donma-çözünme deney verileri dona karşı dayanıklılık ( $MgSO_4$ ) deneyi sonuçlarını desteklemektedir.

#### 4.3. Maliyet Analizi

Deney sonuçları, %100 KA ve %50 BAA-%50 KA karışımı ile edilen alttemel malzemesi arasında ekonomik analiz yapılarak karşılaştırılmıştır. Çalışmada yol genişliği 1100 cm, yol uzunluğu 1 km ve alttemel tabaka kalınlığı 30 cm olarak alınmıştır. Çizelge 4.4’de görüldüğü gibi deneysel çalışmalar sonucunda kalker agregası ve beton atık agregasının özgül ağırlık değerleri sırasıyla 2.63 ve 2.34 olarak belirlenmiştir. Verilen değerlere göre alttemel tabakasında kullanılacak olan kalker agregası ve beton atık agregası malzeme miktarları (4.1) numaralı formül ile hesaplanmıştır.

$$\text{Malzeme miktarı} = \text{Yol genişliği} * \text{Yol kalınlığı} * \text{Yol uzunluğu} * \text{Malzeme yoğunluğu} \quad (4.1)$$

$$\text{Kalker agreganın malzeme miktarı} = 1100 * 30 * 100000 * 2.63 = 8679 \text{ ton}$$

$$\text{Beton atık agreganın malzeme miktarı} = 1100 * 30 * 100000 * 2.34 = 7722$$

Beton atık agrega malzemesinin maliyeti için nakliye bedeli hesaplanmıştır. Malzemenin taşıma mesafesi 10 km alınarak nakliye bedeli elde edilmiştir. Nakliye bedeli (4.2) numaralı formül ile hesaplanmıştır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı). Agregaya fiyatı ise ilgili ocaklardan teklifleri alınarak 16 TL/Ton olarak hesaplanmıştır.

$$F = K * (0.0007 * M + 0.01) * \delta \text{ TL/m}^3 \quad (4.2)$$

K : 278 TL (Motorlu taşıt taşıma katsayısı-2018)

M : Mesafe (km)

$\delta$  : Malzeme yoğunluğu (Ton/m<sup>3</sup>)

$$F = 278 * (0.0007 * 10 + 0.01) * 2.34$$

$$F = 11 \text{ TL/ m}^3$$

$$\%25 \text{ M\text{ü}teahhit karı ve genel giderler: } 11 * 0,25 = 2.75 \text{ TL/ m}^3$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ malzeme nakliye bedeli: } 13.75 \text{ TL/ m}^3$$

**Çizelge 4.6.** Birim malzeme maliyetleri

Malzeme Cinsi	Birim	Miktarı (ton)	Fiyatı (ton)	Tutarı
Alttemel (%100 KA)	ton	8679	16	138.864
Karışım Alttemel (%50 KA- %50 BAA)	ton	8201	14.875	121.990
		<b>Malzeme fiyat farkı</b>	1.125	16.874

Çizelge 4.6. incelendiğinde karışım alttemel (%50 BAA-%50 KA) için birim ton maliyeti, malzeme maliyeti 14.875 TL olarak hesaplanırken alttemel (%100 agrega) için malzeme maliyeti 16 TL olarak hesaplanmaktadır. Karışım alttemel kullanılması durumunda maliyetin 16.874 TL düştüğü görülmektedir.

## 5. SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmada, Antalya İlinde başlatılan kentsel dönüşüm projesi ile ortaya çıkan beton molozların agregalara dönüştürülerek alttemel malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma iki başlık altında gerçekleştirilmiştir. İlk olarak beton atık agregası ile kalker agregasının performansları karşılaştırılmıştır. İkinci olarak alttemel karışım dizaynları yapılmış ve karışım performansları incelenmiştir.

Tez çalışmasında ilk olarak kalker agrega ve beton atık agregaya KTŞ 2013’de alttemel tabakası için belirtilen agrega deneyleri yapılmıştır. KA VE BAA arasında şu farklılıklar bulunmuştur:

- i) Beton atık agrega en yüksek su emme oranına sahiptir ve KTŞ de istenilen değerin üstünde çıkarak şartname limitlerini sağlamamıştır. Yüksek çıkmasının sebebi BAA’nın pürüzlü ve boşluklu olmasıdır. Özellikle yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yerlerde agreganın su ile temas edebilme riski bulunduğu için bu tip atık agreganın kullanımı önerilmemektedir.
- ii) Su emme değerinin oldukça yüksek olduğu BAA malzemesinin özgül ağırlık değerleri de KA’ya göre düşük çıkmıştır. Los Angeles aşınma deneylerinden elde edilen değerlere göre BAA malzemesinin aşınma değeri 43.91, KA malzemesinin aşınma değeri ise 32 bulunmuştur. Her iki malzemenin de KTŞ 2013 %45 limit değeri sağlanmıştır. Fakat BAA sınır değere çok yakın bir değer çıkmıştır. BAA malzemesi üzerindeki harç kalıntılarının kolaylıkla parçalanması ve boşluklu yapıya sahip olmasından dolayı BAA’nın aşınma değerinin yüksek çıkmıştır.
- iii) Beton atık agreganın donma kayıp yüzdesi kalker agregadan çok yüksek bir değer çıkarak KTŞ şartname sınır değerini sağlamamıştır.
- iv) Kullanılan BAA’nın kaba danelerinin, KA ile karşılaştırıldığında yassılık indeks değeri daha düşük olduğu bulunmuştur. Yassılık indeksi deneyi sonuçlarına göre her iki malzemede KTŞ 2013 %30 limiti değerlerini sağlamaktadır.

Bir sonraki aşamada, alttemel malzemesi olarak kullanılan toplam kalker agreganın ağırlıkça %0, %10, %15, %20, %25, %50 oranında BAA ile alttemel karışım dizaynı yapılmıştır. Bu karışımların alttemel tabaka malzemesi olarak kullanılabilirliği KTŞ 2013’de verilen performans deneyleri ile araştırılmıştır. Yapılan deneylerden şu sonuçlar elde edilmiştir:

i) Alttemel malzemesi olarak geri dönüştürülmüş BAA ile hazırlanan karışımlar, kontrol numunesi olarak hazırlanan alttemel KA numunesine kıyasla daha düşük kuru birim hacim ağırlığa ve daha yüksek bir optimum su muhtevasında sahiptir. Bunun sebebi BAA malzemesinin su emme oranının KA malzemesine göre çok yüksek olmasıdır.

ii) Karışımlara yapılan CBR deney sonuçlarından elde edilen değerlerin, karışımdaki, BAA içeriği arttıkça, kontrol numunesine göre azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumun sebebi, karışım içindeki beton atık agregalarının, yük altında danelerin üzerinde bulunan harç kalıntılarının kolay parçalanarak taşıma gücünün azalmasına neden olmuştur. Tüm karışımlar KTŞ 2013’de alttemel için belirtilen %50 şartını sağlamıştır. Yani, BAA malzemesinin alttemel malzemesi içerisinde kullanılabilceği görülmüştür.

iii) Geri dönüşüm malzemesinden daha fazla faydalanabilmek için BAA-KA karışımlarında kullanılabilir maksimum BAA oranı belirlenmiştir. Kullanılabilir maksimum BAA oranı %50 oranında belirlenmiştir.

iv) Daha sonra BAA malzemesine yapılan dona karşı dayanıklılık ( $MgSO_4$ ) deneyinden elde edilen değer şartname limit değerini sağlayamadığı için %50BAA-%50KAA karışımları üzerinde dona karşı dayanıklılık deneyi yapılmıştır. Elde edilen değer KTŞ 2013 limit değere yakın bir değer çıktığı için karışımda %50 BAA oranı maksimum olarak kabul edilmiştir.

v) Bu çalışmada literatürde yapılan benzer çalışmalardan farklı olarak alttemel kontrol numunesi ve %50BAA- %50KA karışım numunesi donma-çözülme kabininde (+12 °C)-(-12°C) arası 2 kez döngüye maruz bırakılarak CBR taşıma gücündeki değişimler gözlemlenmiştir. Deney sonucunda %50 BAA- %50 KA karışım numunesinin, kontrol numunesine kıyasla CBR taşıma gücünde daha fazla bir düşüş gözlemlenmiştir. Bunun sebebi, donma-çözülme döngüsünde zaten zayıf olan BAA danelerinin daha fazla parçalanmaya maruz kalması yani, BAA malzemesinin dona karşı daha hassas bir davranış göstermesidir.

Bu tez çalışmasında Antalya İli kepez santral mahallesinde bulunan ilk gecekondular atıkları kullanılmıştır. Bu gecekondular ilk gecekondulardır ve malzeme kalitesi oldukça düşüktür. Beton atık agregaların özellikleri yıkım yapılan bölgeye ve binaya göre değişmektedir. Yapılacak her çalışmada beton atık agregaların fiziksel özellikleri detaylı bir şekilde araştırılmalıdır.

Esnek üstyapılarda kullanılan üst yapı malzemelerinin mekanik özellikleri laboratuvar şartlarında Kompaksiyon ve CBR deneyleri ile belirlenmesine rağmen trafikteki dinamik yükleri belirlenmediği için yeterli sonuç vermemektedir. Gelecekteki çalışmalarda, statik yükün etkisine ilave olarak trafikteki dinamik yüklerin de etkisinin belirlenmesi için daha kompleks bir deney yöntemi olan Dinamik Üç Eksenli deney yöntemi ile geliştirilmesi önerilmektedir.

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda BAA malzemesinin alttemel tabakasında KA ile belirli oranlarda kullanılabilmesi görülmüştür. Yol uygulamalarında beton atıklarının geri dönüştürülmesi; atıkların depolama saha alanlarının, taş ocağının işletilmesiyle ilgili olumsuz çevresel etkilerin, taşıma maliyetinin ve doğal agrega rezervlerinin tüketiminin azaltılmasını sağlayacaktır. Bu nedenle geri dönüşüm uygulamalarının inşaat sektöründe kullanımının artırılması için teşvik edici yöntemler geliştirilmelidir. Bu teşvik edici yöntemler; depolama sahalarının maliyetinin atılması, inşaat atıkları için geri dönüşüm tesislerinin kurulması, geri dönüşüm malzemelerinin kullanımı için vergi indirimi gibi ekonomik avantajlar sağlanması ve inşaat projelerinde geri dönüştürülmüş agreganın belli oranlarda kullanımının zorunlu hale getirilmesi şeklinde olabileceği düşünülmektedir.



## 6. KAYNAKLAR

- Abu, A.E. and Behiry, E.M. 2013. Utilization of cement treated recycled concrete aggregates as base or subbase layer in Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, 4:661-673.
- Anonim 1: <http://www.Osmancamci.Com.Tr/Faaliyetler/Kara-Yolu> [Son erişim tarihi: 20.04.2019]
- Akça, K.R. 2014. Kentsel dönüşüm sürecinde inşaat atık molozlarının geri kazanılması. Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı, İstanbul, 141 s.
- Akentuna, M. 2007. Characterization of recycled concrete aggregates (RCA) from an old foundation structure for road pavement works. Master thesis, Southern Illinois University, Carbondale, ABD, 118 s.
- Arabani, M. and Azarhoosh A.R. 2012. The effect of recycled concrete aggregate and steel slag on the dynamic properties of asphalt mixtures. *Construction and building materials*, 35,1-7.
- Arshad, M. and 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.
- Aruljah, A., Piratheepan J., Disfani M.M., Bo, M.W. And ASCE, M 2013. Geotechnical and Geoenvironmental Properties of Recycled Construction and Demolition Materials in Pavement Subbase Applications. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25:1077-1088.
- Astm C131 2014. Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the los angeles machine. American society for testing and materials, USA.
- Astm D 5918. 2006. Standard test method for frost heave and thaw weakening susceptibility Of Soils. American society for testing and materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- Baydilli, E. 2018. Kayseri çinko-kurşun üretim tesisleri atıklarının yol dolgu ve üstyapı tabakalarında kullanımı. Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 92 s.
- BS 812-105.2 1990. Elongation index of coarse aggregate. British Standard, England.
- Chen, H.J, Yen, T. and Chen, K.H. 2003. Use of building rubbles as recycled aggregates. *Cement and Concrete Research*, 33: 125–132.
- Çağrıç, A. 2016. İnşaat ve yıkıntı atıklarından elde edilen geri dönüşüm malzemelerinin karayolu üstyapısında kullanımı. Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Haberleşme Programı, İstanbul, 125 s.
- Çetin, A. 1997. Endüstriyel atıkların asfalt beton kaplama karışımında değerlendirilmesi. Yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 113 s.

- Çetin, S. 2007. Afyonkarahisar bölgesi volkanik kayaların sıcak karışım asfalt kaplamalarında agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 90 s.
- Demir, A. ve Ok, B. 2018. Yapım yıkım atıklarının yol temellerinde kullanılabilirliğinin incelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1): 224-236.
- Demirel, Z., Kadioğlu, M., Aray, S., Orhan, F. ve Alp, A. 2012. Toprak ve Stabilizasyon Laboratuvarı El Kitabı. K.G.M., Ankara, 182 s.
- Gabr, A.R. and Camereon D.A. 2012. Properties of Recycled Concrete Aggregate for Unbound Pavement Construction. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24:754-764.
- Gaetano, E.A. 2010. The response of flexible pavement systems to local deterioration of the base layer. Master thesis, McGill University, Montréal, Québec, Canada, 119 s.
- Gupta, R. 2009. A Study of geosynthetic reinforced flexible pavement system. Doctor of Philosophy, The University of Texas at Austin, Texas, ABD, 319 p.
- İlıcılı, M. 1988. Karayolu üstyapısında erdemir cürufunun kullanılabilirliğinin araştırılması. Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 148 s.
- Kabayashi, S. and Kawano, H. 1999. Properties and usage of recycled aggregate concrete. Proc. of 2nd International RILEM symposium on demolition and reuse of concrete and masonry-2, Japan, pp. 547-556.
- Kalem Z. 2015. Kentsel dönüşümdeki inşaat ve yıkıntı atıklarının killi zeminlerde iyileştirmeye etkilerinin araştırılması. Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 70 s.
- Karayolu Teknik Şartnamesi (2013). Karayolları Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, 431 s.
- Kartalkanat S. 2013. Kentsel dönüşüm uygulamaları neticesinde çıkan atık malzemelerin yol üstyapısında kullanılabilirliği: Üsküdar örneği. Yüksek lisans tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 149 s.
- Khalaf, F.M. 2004. Recycling of clay bricks as aggregate in asphalt concrete. International RILEM conference on the use of recycled materials in buildings and structures, Barcelona, Spain, Pp. 56-65.
- Kuloğlu, N., Kök, B.V. ve Durmaz, B. 2006. Beton asfaltın farklı türden temeller üzerindeki serbest basınç mukavemet değerinin değişimi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 18 (1): 91-97.
- Leite, F.C., Motta, R.S., Vasconcelos, K.L. and Bernucci, L. 2011. Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements. *Construction and Building Materials*, 25: 2972-2979.
- Öksüz, B. 2011. asfalt betonu kaplamalarda volkanik cüruf ve cam atıklarının filler olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 87 s.

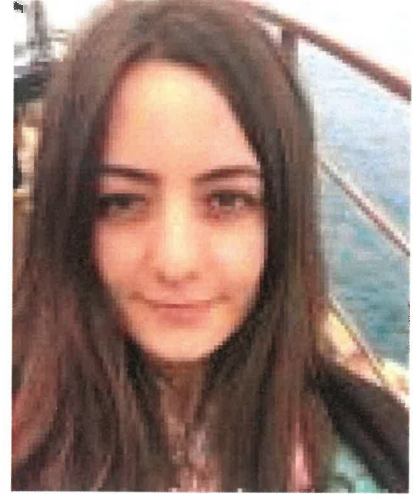
- Pourtahmasb, M.S. and Karim M.R. 2014. Utilization of Recycled Concrete Aggregates in Stone Mastic Asphalt Mixtures. *Center for Transportation Research (CTR)*, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Article ID 902307, pp 9.
- Satıroğlu, Y.S. 2013. İnşaat molozlarının yol alt yapı malzemesi olarak kullanılması. Yüksek lisans tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 78 s.
- Seren, I.E. 2015. Elektrik ark fırını cürufunun yapay agrega olarak esnek üstyapılarda çimento bağlayıcı granüler temel tabakasında kullanılabilirliğinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Mühendisliği Programı, İstanbul, 99 s.
- Seferoğlu, A., Seferoğlu, M.T., ve Akpınar, M.V. 2015. Yol aşınma tabakasının geri dönüşüm malzemesi olarak ulaşım üstyapısında kullanılabilirliğinin araştırılması. 2. Uluslararası Sürdürülebilir Binalar Sempozyumu, Ankara, 281-287.
- T.C Milli Eğitim Bakanlığı, 2011. Şantiyede Agrega Deneyleri. İnşaat Teknolojisi, Ankara.
- Tunç, A. 2001. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. Atlas Yayınları, İstanbul.
- 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 1097-6 2013. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranı tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-9: 2013 +A1 2014. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 9: İnce malzeme tayini – Metilen mavisini deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1367-2 2011. Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler - Bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1744-1:2009+A1 2013. Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Kimyasal analiz, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Umar, F. Ve Ağar, E. 1985. Yol Üstyapısı. İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Uzan J. 2004. Permanent deformation in flexible pavements. *Journal of transportation engineering*, 130 (1): 6-13.
- Yılmaz, A. ve Süttaş, İ. 2008. Ferrokrom cürufunun yol temel malzemesi olarak kullanımı. *İmo Teknik Dergi*, 294: 4455-4470.



## ÖZGEÇMİŞ

**DÜRDANE YILMAZ**

drdneymzz@gmail.com



### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2015-2019	Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi
2010-2015	Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta
2013-2019	Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta

### MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Saha Mühendisi	Ankars İnşaat, Antalya
2018	