



**ALAŞEHİR (MANİSA) BÖLGESİ TRAVERTEN ATIKLARININ YOL TEMEL  
VE ALTTEMEL TABAKALARINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**MURAT SÜER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI  
Dr. Öğr. Üyesi Ferit YAKAR  
Temmuz - 2019  
Her hakkı saklıdır**

**T.C.  
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ALAŞEHİR (MANİSA) BÖLGESİ TRAVERTEN ATIKLARININ YOL TEMEL  
VE ALTTEMEL TABAKALARINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**MURAT SÜER**

**TOKAT  
Temmuz - 2019**

Her hakkı saklıdır

Murat SÜER tarafından hazırlanan “Alaşehir (Manisa) Bölgesi Traverten Atıklarının Yol Temel ve Alttemel Tabakalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 26 TEMMUZ 2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI ‘nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Ferit YAKAR



Üye  
Dr. Öğr. Üyesi M. Naci AĞAOĞLU  
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi



Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Funda TÜRE KİBAR  
Başkent Üniversitesi



Prof. Dr. Çetin ÇEKİÇ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

08--08/2019

## **TEZ BEYANI**

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

**MURAT SÜER**

**26 Temmuz 2019**

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### ALAŞEHİR (MANİSA) BÖLGESİ TRAVERTEN ATIKLARININ YOL TEMEL VE ALTTEMEL TABAKALARINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

MURAT SÜER

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ FERİT YAKAR

Doğal taşlar arasında yer alan traverten, inşaat sektöründe kaplama ve döşeme malzemesi olarak kullanılmaktadır. Travertenin, yapıda kullanılabilmesi için doğadan çıkarılması ve işlenmesi gerekmektedir. Taş ocaklarında çıkarılan travertenin kullanıma uygun hale getirilme aşamasına kadar %50 ila %75'lik bir kısmı atık malzeme olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında Alaşehir (Manisa) bölgesi traverten atıklarının fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilerek, yol üst yapısında alttemel ve temel malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Maliyet ve çevresel zararlı etkilerin de azaltılması kapsamında, kırmataş malzemeye göre kıyaslama yapılmıştır. Araştırma kapsamında traverten atıklarına, KTŞ (Karayolları Teknik Şartnamesi) 2013'de yer alan alttemel ve temel malzeme özelliklerine ait deneyler uygulanmıştır. Bu deneyler; elek analizi, MgSO<sub>4</sub> ile yapılan hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi, Los Angeles aşınma deneyi, yassılık indeksi deneyi, kaba ve ince agregada su emme deneyi, likit limit ve plastik limit deneyi, NaOH ile yapılan organik madde deneyi, metilen mavisi deneyi, kil topağı ve dağılabilen tane oranı deneyi, proktor ve CBR deneyleridir. Ayrıca traverten atığı malzemenin birim kilometre nakliye bedeli de hesaplanarak maliyet açısından kırmataş malzemeye göre etkin kullanılabilir mesafesi hesaplanmıştır. Traverten atıklarının doğaya verdikleri zarar da ortaya konulmuştur. Sonuçta; traverten atıklarının, KTŞ 2013 standartlarını sağlayarak, alttemel ve temel malzemesi olarak kullanılabilirliği görülmüştür. Ayrıca atıklar için bir bedel ödenmediği takdirde belli mesafeye kadar maliyet etkin olduğu ve atıkların yol üst yapısında kullanılmasının taş ocaklarının çevreye vermiş olduğu zararlı etkiyi bir nebze azaltacağı ve böylelikle ülke ekonomisine ve doğal dengeye ilave bir katkı sağlayacağı kanaatine varılmıştır.

2019, 93 SAYFA

**ANAHTAR KELİMELER:** Traverten Atıkları, Alt Temel, Temel, Agregada

## **ABSTRACT**

### **MASTER THESIS**

#### **INVESTIGATION OF THE USABILITY OF TRAVERTINE WASTES IN ALAŞEHİR (MANİSA) REGION ON ROAD BASE AND SUBBASE LAYERS**

**MURAT SÜER**

**TOKAT GAZİOSMANPAŞA UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

**SUPERVISOR: ASST. PROF. DR. FERİT YAKAR**

Travertine, which is among the natural stones, is used as coating and flooring material in the construction sector. Travertine must be extracted and processed from nature in order to be used in the structure. From 50% to 75% of the travertine extracted in the quarries is used as waste material. In this thesis, physical and mechanical properties of travertine wastes in Alaşehir (Manisa) region were determined and their usability as sub-base and base material was investigated. In order to reduce cost and environmental harmful effects, a comparison was made according to crushed stone material. Within the scope of the research, experiments related to the sub-basic and basic material properties in the TSH (Technical Specifications of Highways) 2013 were applied to the travertine wastes. These experiments; sieve analysis, weather resistance test with MgSO<sub>4</sub>, Los Angeles abrasion test, flatness index test, water absorption test in coarse and fine aggregate, liquid limit and plastic limit test, organic material test with NaOH, methylene blue test, clay pellet and dispersible grain ratio test, proctor and CBR experiments. In addition, the unit kilometer transportation cost of travertine waste material was calculated and the effective usable distance was calculated in terms of cost compared to crushed stone material. The damage of travertine wastes to the nature has also been revealed. After all; it is seen that travertine wastes can be used as sub-base and base material by meeting TSH 2013 standards. In addition, it is considered that unless a price is paid for the wastes, it is cost effective up to a certain distance and that the use of wastes in the road superstructure will reduce the harmful effects of the quarries to the environment to some extent and thus contribute to the national economy and natural balance.

2019, 93 PAGE

**KEYWORDS:** Travertine Wastes, Sub-Base, Base, Aggregate

## ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlık, araştırma ve uygulama aşamalarında bana yol gösteren ve yapmış olduğu yönlendirmelerle doğru hedeflere ulaşmamı sağlayan değerli tez danışman hocam Doktor Öğretim Üyesi Ferit Yakar'a teşekkür ederim.

Eğitim ve tez çalışmalarım sırasında bana manevi destek sağlayan aileme; eşim Aslı'ya, anneme, babama, çocuklarım Ayşe ve Ela'ya sevgilerimi sunarım. Ayrıca kardeşlerim Feyza ve Belkıs'a da teşekkür ederim.



**Murat SÜER**

**Temmuz 2019**

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	3
2.1. Doğal Taşlar .....	8
2.1.1. Magmatik (Katılaşım) taşlar .....	10
2.1.2. Sedimanter taşlar .....	11
2.1.3. Metamorfik (Başkalaşım) taşlar .....	13
2.2. Agrega .....	14
2.2.1. Mineralojik sınıflandırma .....	14
2.2.2. Boyut sınıflandırması .....	14
2.2.3. Gradasyon sınıflandırması .....	15
2.2.4. Biçim sınıflandırması .....	16
2.2.5. Yüzey yapısı sınıflandırması .....	17
2.2.6. Porozite sınıflandırması .....	17
2.3. Karayolu .....	17
2.3.1. Esnek üstyapı .....	19
2.3.2. Alttemel tabakası .....	21
2.3.3. Temel tabakası .....	25
2.3.4. Kaplama tabakası .....	31
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	32
3.1. Elek Analizi Deneyi .....	32
3.2. MgSO <sub>4</sub> İle Yapılan Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi .....	33
3.3. Los Angeles Aşınma Deneyi .....	35



3.4.	Yassılık İndeksi Deneyi.....	37
3.5.	Kaba ve İnce Agregada Su Emme Deneyi .....	38
3.5.1.	31.5-63 mm tane büyüklüğüne sahip agregalarda su emme.....	39
3.5.2.	4-31.5 mm tane büyüklüğüne sahip agregalarda su emme.....	40
3.5.3.	0.063-4 mm tane büyüklüğüne sahip agregalarda su emme.....	40
3.6.	Likit Limit ve Plastik Limit Deneyi .....	42
3.7.	NaOH ile Yapılan Organik Madde Deneyi .....	43
3.8.	Metilen Mavisini Deneyi .....	44
3.9.	Kil Topağı ve Dağılabilen Tane Oranı Deneyi.....	46
3.10.	Modifiye Proktor ve CBR Deneyleri.....	47
3.10.1.	Modifiye proktor deneyi .....	47
3.10.2.	Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyi.....	49
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA .....	53
4.1.	Elek Analizi Deneyi.....	53
4.2.	MgSO <sub>4</sub> ile Hava Tesirlerine Dayanıklılık Deneyi .....	57
4.3.	Los Angeles Aşınma Deneyi .....	59
4.4.	Yassılık İndeksi Deneyi.....	60
4.5.	Kaba ve İnce Agregada Su Emme Deneyi .....	62
4.5.1.	31.5-63 mm tane büyüklüğünde agregalarda su emme .....	62
4.5.2.	4-31.5 mm tane büyüklüğünde agregalarda su emme .....	63
4.5.3.	0.063-4 mm tane büyüklüğünde agregalarda su emme .....	63
4.6.	Likit Limit ve Plastik Limit Deneyi .....	65
4.7.	NaOH ile Yapılan Organik Madde Deneyi .....	65
4.8.	Metilen Mavisini Deneyi .....	67
4.9.	Kil Topağı ve Dağılabilen Tane Oranı Deneyi.....	68
4.10.	Modifiye Proktor ve CBR Deneyleri.....	70
4.10.1.	Modifiye proktor deneyi .....	70
4.10.2.	Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyi.....	75
4.11.	Traverten Atığı ve Kıрма Taş İçin Maliyet Hesabı .....	82
4.12.	Traverten Atığı Malzeme ve Kıрма Taş İçin Nakliye Hesabı.....	83
4.13.	Traverten Atıklarının Çevresel Etkileri .....	86
5.	SONUÇ .....	88

6. KAYNAKLAR .....	90
7. ÖZGEÇMİŞ .....	93



## SİMGELER VE KISALTMALAR

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
MgSO <sub>4</sub>	Magnezyum Sülfat
NaOH	Sodyum Hidroksit

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklamalar</b>
ASTM	American Society for Testing and Materials
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
CBR	California Bearing Ratio (Kaliforniya Taşıma Oranı)
cm	Santimetre
ÇBGT	Çimento Bağlayıcılı Granüler Temel
EAF	Elektrik Ark Fırını
GT	Granüler Temel
In	İnç
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
kN/m <sup>3</sup>	Kilo Newton / metreküp
KTŞ	Karayolları Teknik Şartnamesi
m	Metre
mm	Milimetre
NP	Non Plastik (Plastik Olmayan)
PMT	Plent Miks Temel
TS	Türk Standardı
UNESCO	Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü

## ŞEKİLLER LİSTESİ

<b><u>Şekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 2.1 Kayaç oluşum döngüsü (Anonim, 2018).....	9
Şekil 2.2 Doğal taşların oluşumlarına göre sınıflandırması.....	10
Şekil 2.3 Magmatik taşların sınıflandırılması.....	11
Şekil 2.4 Sedimanter (tortul) taşların sınıflandırılması.....	12
Şekil 2.5 Türkiye “traverten sahaları” dağılım haritası .....	12
Şekil 2.6 Metamorfik (Başkalaşım) taşların sınıflandırılması .....	13
Şekil 2.7 Tipik yol kesiti katmanları.....	19
Şekil 2.8 Esnek üstyapıyı oluşturan elemanlar (Umar ve Ağar, 1991).....	20
Şekil 2.9 Esnek üstyapı kesiti ve ortalama tabaka kalınlıkları (Kaya, 2014) ...	21
Şekil 3.1 Elek analizi aşamaları .....	33
Şekil 3.2 MgSO <sub>4</sub> ile hava tesirlerine karşı dayanıklılık deney aşamaları .....	35
Şekil 3.3 Los Angeles aşınma deney aşamaları-1.....	37
Şekil 3.4 Los Angeles aşınma deney aşamaları-2.....	37
Şekil 3.5 Kaba ve ince agregada su emme deney aşamaları-1 .....	41
Şekil 3.6 Kaba ve ince agregada su emme deney aşamaları-2 .....	41
Şekil 3.7 Likit limit ve plastik limit deney aşamaları .....	43
Şekil 3.8 NaOH ile yapılan organik madde deneyi .....	44
Şekil 3.9 Metilen mavisi deney aşamaları-1 .....	45
Şekil 3.10 Metilen mavisi deney aşamaları-2.....	46
Şekil 3.11 Modifiye proktor deney aşamaları-1 .....	48
Şekil 3.12 Modifiye proktor deney aşamaları-2 .....	49
Şekil 3.13 Taban plakası takılı CBR deney kalıbı ve yükseklik ölçüsü .....	51
Şekil 3.14 CBR Deney aşamaları .....	51
Şekil 4.1 Alttemel numunesi gradasyon dağılımı.....	55
Şekil 4.2 Temel numunesi gradasyon dağılımı.....	57
Şekil 4.3 NaOH ile yapılan organik madde deney sonucu .....	66
Şekil 4.4 Metilen mavisi deney sonucu .....	67
Şekil 4.5 Su içeriği-kuru birim hacim ağırlık grafiği.....	74
Şekil 4.6 Numunenin suda bekleme aşamaları .....	76
Şekil 4.7 CBR cihazı.....	79
Şekil 4.8 Düzeltilmiş basınç-penetrasyon eğrisi.....	80
Şekil 4.9 Traverten- kırmataş mesafe-maliyet grafiği .....	85
Şekil 4.10 Mermer-traverten atık oluşum aşamaları (Öztürk, 2018).....	86

## ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Malzeme cinsine göre alttemel kalınlıkları .....	21
Çizelge 2.2 Alttemel malzemesi gradasyon limitleri .....	22
Çizelge 2.3 Alttemel malzemesi fiziksel özellikleri .....	23
Çizelge 2.4 Alttemel sıkıştırma kriterleri (KTS 2013) .....	24
Çizelge 2.5 Temel malzemesi kaba agrega fiziksel özellikleri.....	26
Çizelge 2.6 Temel malzemesi ince agrega fiziksel özellikleri.....	26
Çizelge 2.7 Granüler temel tabakası gradasyon limitleri.....	27
Çizelge 2.8 Granüler temel tabakası sıkıştırma kriterleri .....	28
Çizelge 2.9 Plent-miks temel tabakası gradasyon limitleri.....	29
Çizelge 2.10 Plent-miks temel tabakası sıkıştırma kriterleri .....	30
Çizelge 2.11 Çimento bağlayıcı granüler temel tabakası gradasyon limitleri	30
Çizelge 3.1 Los Angeles aşınma deneyi alınması gerekli malzeme miktarı ....	35
Çizelge 3.2 Los Angeles aşınma deneyi malzeme miktarı ilave şartlar .....	36
Çizelge 3.3 BS 812 yassılık indeksi numune miktarı .....	38
Çizelge 3.4 31.5-63 mm tane büyüklüğünde agrega miktarı .....	39
Çizelge 3.5 4-31.5 mm tane büyüklüğünde agrega miktarı .....	40
Çizelge 3.6 0.063-4 mm tane büyüklüğünde agrega miktarı .....	40
Çizelge 3.7 Alınması gerekli numune miktarı .....	46
Çizelge 3.8 Modifiye proktor deneyi malzeme kullanım şartları .....	48
Çizelge 3.9 CBR Deney numunesi elek analizi tespiti .....	50
Çizelge 3.10 CBR Deneyi malzeme kullanım şartları .....	50
Çizelge 4.1 Tane çapı dağılımı deney formu, alttemel .....	53
Çizelge 4.2 Traverten atığı alttemel malzeme için elek analizi sonuçları .....	54
Çizelge 4.3 Tane çapı dağılımı deney formu, temel .....	55
Çizelge 4.4 Traverten atığı temel malzeme için elek analizi sonuçları .....	56
Çizelge 4.5 MgSO <sub>4</sub> ile hava tesirlerine dayanıklılık deney verileri.....	57
Çizelge 4.6 MgSO <sub>4</sub> ile hava tesirlerine dayanıklılık deney sonucu .....	58
Çizelge 4.7 Los Angeles aşınma deney sonuçları.....	59
Çizelge 4.8 Los Angeles aşınma deney sonucu .....	60
Çizelge 4.9 Yassılık indeksi deneyi malzeme miktarı .....	60
Çizelge 4.10 Yassılık indeksi deneyi revize malzeme miktarı .....	60
Çizelge 4.11 Yassılık indeksi deneyi için alınan malzeme miktarı .....	61
Çizelge 4.12 Yassılık indeksi deney sonucu.....	62
Çizelge 4.13 31.5-45 mm tane büyüklüğünde agregada su emme verileri.....	63
Çizelge 4.14 4-16 mm tane büyüklüğünde agregada su emme verileri.....	63
Çizelge 4.15 0.063- 4 mm tane büyüklüğünde agregada su emme verileri.....	64
Çizelge 4.16 Kaba ve ince agrega su emme deney sonucu (alttemel) .....	64
Çizelge 4.17 Kaba ve ince agrega su emme deney sonucu (temel) .....	64
Çizelge 4.18 Likit limit deney sonucu .....	65
Çizelge 4.19 Plastisite indeksi deney sonucu .....	65
Çizelge 4.20 Agregada organik madde referans tablosu .....	66
Çizelge 4.21 NaOH ile yapılan organik madde deney sonucu .....	66
Çizelge 4.22 Metilen mavisi deney sonucu .....	68
Çizelge 4.23 Kil topağı ve dağılabilen tane oranı deneyi numune miktarı.....	68

Çizelge 4.24 Kil topağı deneyi eleme sonrası miktarı .....	68
Çizelge 4.25 Kil topağı ve dağılabilen tane oranı şartname limit değerleri .....	69
Çizelge 4.26 Modifiye proktor deney numunesi elek analizi tespiti .....	70
Çizelge 4.27 Modifiye proktor deney sonuç tablosu .....	71
Çizelge 4.28 Modifiye proktor deney sonuç .....	74
Çizelge 4.29 Şişme yüzdesi verileri .....	75
Çizelge 4.30 Yaş ve kuru birim hacim verileri .....	78
Çizelge 4.31 Kaliforniya taşıma oranının saptanması .....	80
Çizelge 4.32 Kaliforniya taşıma oranı (CBR) KTŞ 2013 limit değerleri .....	81
Çizelge 4.33 Ocaktan taş hazırlanması poz fiyatı .....	82
Çizelge 4.34 Traverten-kırmataş birim hacim kütle değerleri .....	83
Çizelge 4.35 Farklı mesafelerde 1 ton malzemenin nakliye bedeli .....	85
Çizelge 5.1 2011-2016 Yılları traverten üretimleri .....	88



## 1. GİRİŞ

Doğada insan yaşayabilmek, hayatını idame ettirebilmek için sürekli hareket halinde olmak zorundadır. Bu işlev ise bir yerden bir yere giderek gerçekleşmektedir. Hareket etme ihtiyacı, yani yolculuk yapma isteği ulaşım gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Yaya olarak yapılan yolculuklar zamanla yerini yük hayvanlarının sağladığı imkânlara, tekerlekli araçlara, deniz taşıtlarına ve teknolojik gelişmelerin de artmasıyla hava araçlarına bırakmışlardır.

Bir kişinin ya da bir nesnenin bir yerden bir yere aktarılması olayına ulaşım denilmektedir. Günümüzde ulaşım insan yaşantısının en önemli ve vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelmiştir. Ulaştırmanın yapı taşı oluşturulan en önemli etken ise araç hareketliliğinin emniyetli ve güvenli bir şekilde yapılmasını sağlayan karayolu üstyapısıdır.

Karayolları Genel Müdürlüğünün 01 Ocak 2019 tarihli verilerine göre, ülkemiz 2159 km'si otoyol olmak üzere toplam 67333 km uzunluğunda yol ağına sahiptir. Ayrıca havayolu ulaşımı için kullanılan 55 adet havalimanı müstemilatında bulunan pist ve park sahalarını da eklersek, yol üstyapısının ülkemizin ulaşım sektöründeki yerinin ne kadar önemli olduğu görülmektedir.

Yol üstyapısı; genellikle alttemel, temel ve esnek ya da rijit kaplama tabakasından oluşmaktadır. Alttemel ve temel malzemesi için çoğunlukla taş ocaklarından temin edilen kırmataş malzemeler kullanılmaktadır. Yol yapım maliyeti, asfalt bitümünün ülkemize ithal olarak gelmesi sebebiyle yüksek seviyelerdedir. Maliyetlerin aşağılara çekilebilmesi için; atık malzemelerin imalatlara girmesi önem arz etmektedir. Aynı zamanda kullanılacak atık malzemelerin teknik bakımdan alttemel ve temel tabakası için öngörülen KTŞ (Karayolları Teknik Şartnamesi) 2013'de yer alan standart değerleri de sağlaması gerekmektedir.

Ülkemizde traverten denildiğinde akıllara ilk olarak Denizli ili, Pamukkale ilçesi gelmektedir. Pamukkale travertenleri, UNESCO Dünya Kültür Mirası Listesinde yerini almış, görsel güzelliğiyle dünya çapında değeri olan doğal taş oluşumlarıdır.

Manisa ili Alaşehir ilçesi de Pamukkale'ye çok da uzak olmayan ve Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğünün Manisa ili maden ve enerji kaynakları verilerine göre 99.7 milyon ton muhtemel traverten rezervine sahip bir bölgede yer almaktadır.

Tez çalışmasında, Alaşehir (Manisa) bölgesi traverten atıklarının yol üstü yapısında alttemel ve temel tabakasında kullanılabilirliği incelenmiştir. Traverten atıklarının KTŞ 2013'de yer alan standartları sağlayıp sağlamadığına yönelik deneyler yapılmıştır. Traverten atığı malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri deneylerle tespit edilmiştir. Deneylerde Manisa ili Alaşehir ilçesinde yer alan özel bir firmaya ait kapalı durumdaki ocaktan temin edilen traverten atığı malzeme kullanılmıştır.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde; traverten atıklarının alttemel ve temel malzemesi olarak kullanılabilirliğine yönelik yapılacak çalışmalara benzer, tez ve araştırmalara yer verilmiştir.

Ergezer (2018) yaptığı çalışmada, Sivas ili Sıcak Çermik Bölgesi traverten atıklarının karayollarının temel ve alt temel tabakalarında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Traverten atığı malzemenin, Karayolları Teknik Şartnamesi'nde (KTŞ 2013) belirtilen şartlara uygun olup olmadığını belirleyebilmek için malzemeye elek analizi deneyi, hava tesirlerine karşı dayanım deneyi, Los Angeles deneyi, yassılık indeksi deneyi, kaba ve ince agregada su emme deneyi, likit limit ve plastik limit deneyi, organik madde tespit deneyi, metilen mavisi deneyi ve modifiye proctor deneyi uygulanmıştır. Deney sonuçlarının KTŞ 2013'de belirtilen sınır değerleri sağladığı görülmüştür.

Özdemir ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, Doğu Anadolu bölgesinde bulunan bazı mermer atıklarının yol temel ve alttemel tabakalarında kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Mermer üretim atığı olarak Malatya Bej, Adıyaman Emprador ve Erzurum Traverten numuneleri kullanmışlardır. Bu amaçla tane boyut dağılımı, su emme, özgül ağırlık, Los Angeles aşınma, proktor, donma dayanıklılık, kaliforniya taşıma oranı (CBR), likit limit ve plastik limit deneyleri yapmışlardır. Araştırmalarının sonucunda, Karayolu Teknik Şartnamesi dikkate alınarak, Malatya Bej, Adıyaman Emprador ve Erzurum Traverten atıklarının temel ve alt temel tabakalarında kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Yonar ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, Bursa bölgesinden temin edilen dökümhane cürufunun karayolu inşaatında dolgu ve granüler tabakalarda kullanım olanaklarını araştırmışlardır. Çalışma kapsamında, dökümhane cürufunun bileşenleri X-ışını kırınım yöntemi ile incelenmiştir. Numunenin fiziksel özellikleri, Karayolları Teknik Şartnamesi 2013'de tanımlanan deneyler uyarınca araştırılmıştır. Sonuç olarak; dökümhane cürufunun, alttemel malzemesi olarak kullanımının teknik açıdan uygun olduğu belirlenmiş ve dökümhane cürufunun çevre ve insan sağlığına bir etkisi olmayacağı kanaatine varılmıştır.

Korkmaz (2017) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, Kütahya-Emet-Espey yöresindeki bor endüstri atıkları (kolemanit konsantratör atıkları ve borojips) ve Tokat-Turhal yöresindeki traverten fabrikası atıklarının çimentoya katkı maddesi olarak ilave edilerek değerlendirilmesi araştırılmıştır. Çalışması kapsamında, Bor endüstri atıkları, traverten atığı ve perlit %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento klinkerine katılmıştır. Hazırlanan çimentoların priz süresi, hacim genişmesi, basınç dayanımı ve ögütme performansı gibi fiziksel özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak bu katkıların en fazla %20 oranına kadar çimentoya katılarak değerlendirilebileceği görülmüştür.

Motor (2017) yaptığı çalışmada, bir bor cevheri olan kolemanitten borikasit üretimi esnasında ortaya çıkan borojips atığının, yol üstyapılarındaki alttemel tabakalarında bağlayıcı madde olarak kullanımını araştırmıştır. Çalışmasında, borojips atığı, alttemel malzemesi ve çimento farklı oranlarda karıştırılarak elde edilen numuneler üzerinde serbest basınç ve CBR deneyleri yapılmıştır. %20 borojips ilaveli karışımlardan 9,5 kg/cm<sup>2</sup>'lik maksimum serbest basınç dayanım değeri ve %50 borojips ilaveli karışımlardan %70'lik maksimum CBR değeri elde edilmiştir. Alttemel tabakası için %70 CBR değeri kullanılarak AASHTO esnek üstyapı tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım sonucu üstyapı kalınlığında bir azalış, alttemel tabakası maliyetinin de yaklaşık yarıya düştüğü gözlemlenmiştir. Sonuç olarak esnek üstyapılarda borojips kullanımıyla, üstyapı maliyetinin ve çevre kirliliğinin azaldığı görülmüştür.

Yakşe (2016) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, atık mermer parçalarının yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesini araştırmıştır. Bilecik İlindeki mermer atıklarının, yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesine yönelik deneyler yapmıştır. Sonuçta, Bilecik İlinin üç farklı bölgesinden alınan mermer atıklarının Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ 2013) belirtilen alt temel/temel malzemesi fiziksel özelliklerini sağladığı ve CBR eğrilerinin de şartnameye uygun olduğu görülmüştür.

Okubay (2016) yapmış olduğu doktora tez çalışmasında, mermer atıklarının karayolu üstyapısında bitümlü sıcak karışımlarda (BSK) mermer atıklarının hem kaba ve ince agrega hem de filler olarak BSK'larda sıklıkla kullanılan kalker agrega ile birlikte kullanımının uygunluğu araştırmıştır. Çalışma kapsamında, bitüm üzerinde standart bağlayıcı deneyleri yapmış, agregaların fiziksel özelliklerini belirlemiş ve her bir karışım türünün optimum bitüm içeriğini Marshall yöntemine göre tespit etmiştir.

Ayrıca mermer atıklarının agrega üretim maliyetlerini de tespit etmiş ve ekonomik olarak kullanılabilirliğini değerlendirmiştir. Sonuç olarak, atıl halde depolanan mermer atıklarının, gerekli şartname limit değerlerinin sağlandığı ve üretim maliyetlerinin normal yollar ile üretilen kalker agregaya göre daha ekonomik olduğu görülmüştür.

Ural ve Yakş (2015) yaptıkları çalışmada mermer ocağı sayısı çok fazla olan Bilecik İlindeki mermer atıklarının, yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesini araştırmışlardır. Bu amaçla, çalışma kapsamında; hava tesirlerine ve donmaya karşı dayanıklılık deneyi, Los Angeles deneyi, yassılık indeksi deneyi, NaOH ile yapılan organik madde tespiti deneyi, su emme deneyi, Atterberg kıvam limitleri deneyi ve metilen mavisi deneyleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan mermer atıkları, Karayolları Teknik şartnamesinde belirtilen temel malzemesi gradasyonu aralıklarında hazırlanarak, şartnamede belirtilen fiziksel özellikleri taşıyıp taşımadıkları kontrol edilmiştir. Sonuçta, Bilecik İlinin üç farklı bölgesinden alınan mermer atıklarının Karayolları Teknik şartnamesinde belirtilen alttemel/temel malzemesi fiziksel özelliklerini sağladığı görülmüştür.

Seren (2015) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, elektrik ark fırını cürufunun yapay agrega olarak esnek üstyapılarda çimento bağlayıcı granüler temel tabakasında kullanılabilirliğini incelemiştir. Çalışma kapsamında Kocaeli’de bulunan Çolakoğlu Metalurji A.Ş. tesislerinden temin edilen EAF cürufu ile Ömerli Alyans Taş Ocağı’ndan alınan doğal agregalar kullanılmıştır. Bu malzemeler kullanılarak Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) 2013’e göre tasarlanan Çimento Bağlayıcı Granüler Temel tabakasına ilişkin deneyler gerçekleştirilmiştir. EAF cürufu ve doğal agrega özellikleri karşılaştırılmış fiziksel deneylere göre yol inşaatında kullanılabilecek dayanıklılığa, yük taşıma kapasiteleri için yapılan deneylere göre de yüksek stabiliteye sahip olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, uygun granülometri ile EAF cürufunun yol inşaatında yapay agrega olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Güven (2015) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında; Denizli’nin önemli ihracat ürünlerinden olan traverten atıklarının tarıma verdiği zararları en aza indirmek, atık yığınlarını azaltarak, traverten fabrikalarının atık maliyetlerini minimize etmek ve bunları yaparken de betonun mekanik özelliklerinde iyileştirme yapmayı amaçlamıştır.

Çalışma sonucunda, Denizli'deki mermer ocaklarından bedelsiz temin edilebilecek atık traverten çamurunun beton üretiminde kullanılabileceği ortaya koymuştur.

Ceylan ve Mança (2013) yaptıkları çalışmada mermer üretim atığı olarak ortaya çıkan iri parçalı mermer atıklarının beton agregası olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. Bu amaçla parça mermer atıkları ve geleneksel olarak betonda kullanılan kırmataş agregaları üzerinde agrega deneyleri yapmışlardır. Daha sonra mermer parça atık agregası ve kontrol grubu kırmataş agregası ile TS 802 standardına göre beton üretimi gerçekleştirmişler ve elde edilen bulgulara göre mermer atık agregalarının değerlerinin kontrol grubu ile çok yakın olduğunu görmüşlerdir. Sonuç olarak parça mermer atıklarının beton agregası olarak kullanımının uygun olacağı kanaatine varmışlardır.

Çobanoğlu ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, Denizli bölgesinde ocak üretiminden çıkan parça şeklindeki travertenlerin betonda agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla agregaların fiziko-mekanik özellikleri tespit edilmiş, deneme beton karışımları hazırlanmıştır. Elde edilen traverten agregalı beton, halen bir beton firması tarafından üretilen kırmataş agregalı beton ile kıyaslanmıştır. Sonuçta traverten agregalı betonun hedeflenen C30 sınıfı beton dayanım değerlerini sağladığını görülmüştür.

Çoruh ve ark. (2013) yapmış oldukları çalışmada, bor cevheri olan kolemanitten borik asit üretimi esnasında ortaya çıkan borojips atığının, yol üstyapılarındaki alttemel tabakalarında bağlayıcı madde olarak kullanımını araştırmışlardır. Bandırma'da bulunan Eti Bor A.Ş.'den sağlanan borojips atığı ile Makimsan A.Ş.'den sağlanan alttemel malzemesi farklı oranlarda karıştırılarak elde edilen numuneler üzerinde serbest basınç ve CBR deneyleri yapmışlardır. %50 borojips içeren alttemel tabakası kullanılarak AASHTO esnek üstyapı tasarımı yapmışlar ve üstyapıda kullanılan toplam agrega miktarında %43, yol yapım maliyetinde ise %12 azalış sağlamışlardır. Sonuç olarak esnek üstyapılarda borojips kullanımıyla, üstyapı maliyetinin ve bor atığının sebep olduğu çevre kirliliğinin azalabileceği görülmüştür.

Akıllı (2012) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, ülkemizde yaygın olarak bulunan volkanik kökenli bazalt agregasının yol üstyapı malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Isparta, Ankara-Polatlı, Gaziantep, Afyon-Emirdağ bazalt ve kalker

malzemesine fiziksel özelliklerinden dayanıklılık, yassılık, sağlamlık ve aşınmaya karşı dirençleri belirlendikten sonra malzemeler üzerinde taşıma oranının belirlenmesi için CBR deneyleri yapılmıştır. Dört farklı şehirden temin edilen bazalt malzemesi ile aynı şehirlerden temin edilen kalker malzemesine kıyaslanması açısından, dona karşı dayanıklılık (Sodyum Sülfat deneyi), sağlamlık (Aşınma), tane yoğunluğu ve su emme değerleri, yassılık endeksi, aşınmaya karşı direnç (Mikro-Deval), proktor, CBR ve dinamik üç eksenli deneyleri uygulanmıştır. Sonuç olarak, temin edilen bazalt ve kalker malzemesinin yol üstü yapısında kullanılabileceği görülmüştür.

Yılmaz ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada, Göller yöresinde üç farklı ocaktan temin edilen kireçtaşı agregalarının yol inşaatı malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Agregası numuneleri üzerinde; elek analizi, gevşek birim ağırlık, özgül ağırlık, su emme oranı, donma çözülme direnci, aşınma direnci, parçalanma direnci ve kimyasal kompozisyon deneyleri uygulanmıştır. Oluşturulan kapalı gradasyonlu karışımlar üzerinde ise Proktor ve CBR deneyleri uygulanmıştır. Sonuç olarak üç farklı bölgeden temin edilen agregaların yol inşaatında temel ve alttemel malzemesi olarak kullanımı açısından standartların belirttiği fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir.

Yılmaz ve Süttaş (2008) yapmış oldukları çalışmada, Antalya'da faaliyet gösteren ETİ Ferrokrom İşletmesi'nden yan ürün olarak ortaya çıkan ve atıl durumdaki endüstriyel atıkların (Elektrik ark fırını cürufunun) yol üstü yapısının temel tabakalarında, doğal agregalar yerine alternatif kullanım imkânı araştırmışlardır. Çalışma kapsamında temel tabakasını temsilen hazırlanan bağlayıcı içermeyen granüler karışımlar üzerinde CBR ve Proctor deneyleri, bağlayıcı içeren karışımlar üzerinde ise serbest basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Ferrokrom cürufunun yol temel malzemesi olarak kullanımını araştırmışlardır. Bu amaçla Antalya'da bulunan Eti Ferrokrom işletmesinden yan ürün olarak ortaya çıkan cüruflara; bağlayıcı içermeyen karışımlar üzerinde CBR ve Proctor deneyleri, bağlayıcı içeren karışımlara ise serbest basınç deneyi uygulamışlardır. Sonuç olarak ferrokrom cüruflarının fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından yol üstü yapısının granüler tabakalarında, doğal agregaya alternatif olarak kullanılabileceği, çimento gibi bir bağlayıcı ile stabilize edilen cüruf karışımlarının yüksek trafik hacmine sahip karayolları için iyi bir stabilizasyon temel alternatifi oluşturabileceğini belirlemişlerdir.

Yıldız (2008) yaptığı doktora tez çalışmasında, mermer toz ve parça atıklarının yol inşaatında değerlendirilebilirliğini araştırmıştır. Çalışma kapsamında parça atıkların yol temel tabakasında, toz atıkların ise zemin toprağı içerisinde karıştırılarak stabilizasyonda kullanılabilirliği test edilmiştir. Testlerde tane boyutu, özgül ağırlık, Atterberg limit, Proctor, permeabilite, Kaliforniya taşıma oranı, kohezyon, içsel sürtünme ve dinamik üç eksenli basınç değerleri belirlenmiştir. Bunların yanında mermer üretimi esnasında kirleticilerin içerisinde karıştığı toz atıklar için çevre ve ekolojik açıdan liç deneyleri ile risk değerlendirmesi yapılmıştır. Analiz sonuçlarından toz atıkların zemin stabilizasyonunu artırdığı ve ince taneli atıkların iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Genellikle homojen tane dağılımına sahip atıklar mukavemeti artırmıştır. Çevresel risk açısından genel olarak toz atık zemin karışımlarının sınırları aşmadığı, hatta bazı kirleticileri bünyesinde tutarak bırakmadığı ve yer altı suları için kirletici etki göstermediği gözlemlenmiştir. Parça atıklar için elde edilen analiz sonuçlarında, temel tabakası için yollar fenni şartnamesinde belirtilen şartların sağlandığı, ancak traverten gibi yumuşak yapıya sahip parça atıkların don etkisi göstermeyen sıcak bölgelerde kullanılmasının daha uygun olacağı görülmüştür.

Gürer (2005) yaptığı çalışmada, Afyon ve çevresinde bulunan ocak atığı parça mermerlerin, orta trafik hacimli asfalt kaplamaların binder tabakalarında agrega olarak değerlendirilip değerlendirilmeyeceğini, halihazırda kullanılan malzemelerle karşılaştırarak araştırmıştır. Araştırma kapsamında, mermer ocaklarından atık olarak depolanan malzemelerden agrega üretilerek asfalt kaplamalardaki binder tabakasında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Mermer ocaklarında bulunan ocak atığı agregalara, minerolojik ve petrografik inceleme, agrega deneyleri, sıcak karışım deneyleri uygulanmış ve sonuçlar halihazırda kullanılan üstyapı agregalarıyla kıyaslanmıştır. Sonuç olarak mermer ocağı atıklarından üretilen agregaların hafif ve orta hacimli asfalt kaplamaların binder tabakalarında kullanılabileceği görülmüştür.

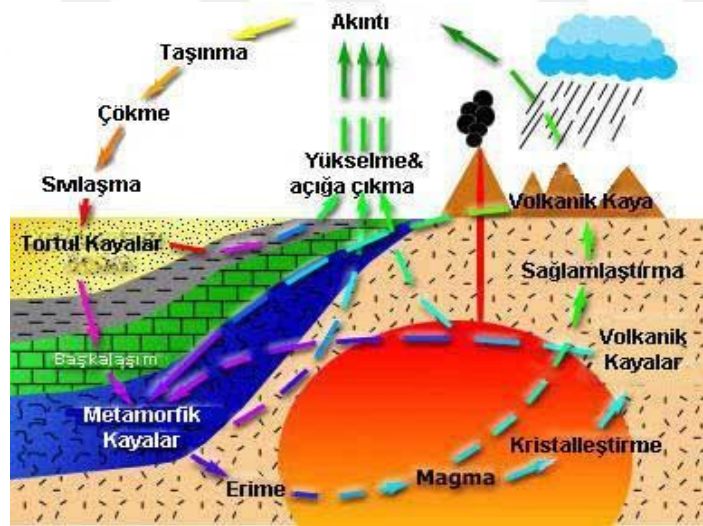
## **2.1. Doğal Taşlar**

Traverten, Türk Dil Kurumu sözlüğünde; birtakım kaynak sularının dibinde biriken, kalkerli veya silisli tortu, pamuk taşı şeklinde açıklanan, dilimize Fransızcadan geçmiş bir kelimedir. Fransızca “travertin”, İtalyanca “travertino”, İngilizce “travertine” olarak

adlandırılır. Traverten, özünde doğal bir taş olduğundan, konuya doğal taş tanımından başlamak daha uygun olacaktır.

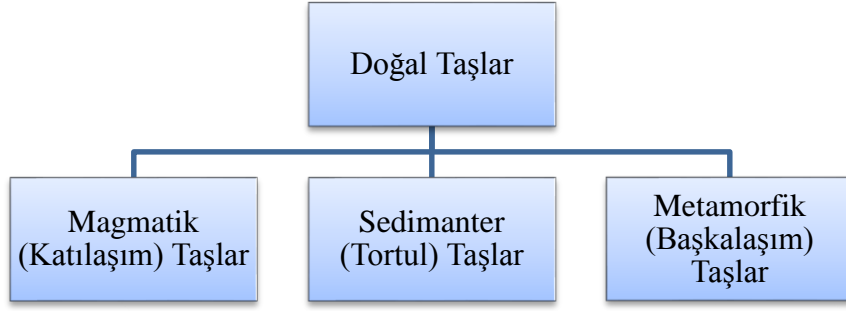
Doğal taşlar, kayaç olarak da adlandırılan, doğadan çıkan ve birtakım işlemler gördükten sonra kullanılan yapı malzemeleridir. Doğal taşlar, dayanıklılık özelliğiyle tarih boyunca yapıların inşasında kullanılmışlardır. Yapıda, doğal enerjili haliyle kullanılabilen nadir inşaat malzemelerindendir. Kullanım alanları çok geniştir, inşaat sektöründe kaplama, döşeme, kırmataş olarak kullanıldığı gibi birçok farklı sektörde de kullanımı mevcuttur.

Kayaçlar, dünyanın 4.6 milyar yıl öncesindeki durumundan başlayarak dağların, denizlerin, okyanusların, nehirlerin oluşum evrelerindeki kimyasal, biyolojik değişimler, iklim şartları, erozyon olaylarının bir sonucu olarak farklı sıkışma, aşınma, taşınmalar neticesindeki değişimleriyle alt sınıflara ayrılırlar. Kayaçların oluşum döngüsü Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Kayaç oluşum döngüsü (Anonim, 2018)

Bu döngü süreci, magma içerisinde hareketle volkanik kayaların oluşumu; akıntı, taşıma, çökme, sıvılaşma etkileriyle tortul kayaların oluşması; başkalaşım, metamorfik kayaların oluşumu ve erime ile tamamlanmaktadır. Bu döngünün içerisinde farklı aşamalarda doğal taşların oluşumlarını tamamladığı görülmektedir. Şekil 2.2’de doğal taşların, oluşum şekillerine göre sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 2.2 Doğal taşların oluşumlarına göre sınıflandırması

### 2.1.1. Magmatik (Katılaşım) taşlar

Magmatik kökenli doğal taşlar yerküre tabakalarında tamamen eriyik halde ve yüksek sıcaklıktaki magma tabakasının yerkabuğunun yapısına bağlı olarak yerkabuğunun içerisine sokulması ve bunun sonucunda sokulduğu derinliklerde soğuyarak kristalleşmesi neticesinde oluşan doğal taşlara magmatik doğal taşlar denilmektedir (Kamacı, 2013).

Magmatik taşlar diğer tüm kayaç türlerinin de kaynağı olarak kabul edilmektedir. Magmanın mineralojik bileşimi çok zengin olduğu için bu kayaçlar mineralojik olarak zengin kayaçlardır. Mineralojik bileşimlerine ve kristal yapılarına göre tanımlanmaktadır. Granit, siyenit, diyorit, gabro gibi kayaçlar plütonik (derinlik) kayaçlar olarak adlandırılırken, andezit, bazalt, diyabaz gibi kayaçlar volkanik (yüzey) kayaçları olarak adlandırılmaktadır (Hunter ve ark., 2015).

Magmatik taşlar sert, tıkHz, yoğun halde bulunan kayaçlardır. Bu tür kayaçlar iyi birer agrega kaynağı olarak konkasörle kırma işlemlerinden sonra istenilen granülometriye getirilerek yol katmanlarının değişik tabakalarında kullanılmaktadırlar. Genel olarak poroziteleri düşüktür (Tunç, 2007).

Kristallenme olayının nerede gerçekleştiğine, yani yerkabuğunun hangi kesiminde bulduklarına göre, derinlik taşları, damar taşları ve yüzey taşları olarak gruplanabilirler. (Şekil 2.3)



Magmatik Taşlar		
Damar Taşlar	Derinlik Taşlar	Yüzey Taşlar
Diabaz	Granit	Bazalt
Porfir	Gabro	Andezit
Pegmatit	Siyenit	Trakit
Aplit	Diyorit	Riyolit

Şekil 2.3 Magmatik taşların sınıflandırılması

### 2.1.2. Sedimanter taşlar

Sedimanter taşlar, daha önceden oluşumlarını tamamlamış kayalardan doğal olaylar neticesinde koparak ayrılan parçaların yine doğal olaylarla taşınarak belli bir alanda tabakalı bir yapıda depolanarak zamanla basınç ve sıcaklıkla oluşumlarını tamamlaması sonucu oluşurlar. Sedimanter kayalar oluşurken, ana kaynak kütlede parçalar kopar, kopan parçalar taşınır ve taşınan malzemeler bir noktada depolanır. Sedimanter kayaların tabakalı bir yapıları vardır (Kamacı, 2013).

Sedimanter kayaların bileşimlerini taneler ve bağlayıcılar oluşturmaktadır. Bağlayıcılar çimento ve matris denilen kil ve silt gibi malzemelerdir. Taneler ise kayaç parçacıkları, mineraller ve fosil kalıntılarında oluşmaktadır (Eren, 2005).

Tortul kayalar olarak da bilinen sedimanter kayalar, köken ve oluşum olarak üç farklı sınıfa ayrılır. Bu sınıflar ve sınıf içerisinde yer alan bazı taşlar Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



### 2.1.3. Metamorfik (Başkalaşım) taşlar

Metamorfik kayalar başkalaşım kayaları da denilmektedir. Bu kayalar yeryüzünde bulunan magmatik, sedimanter, metamorfik kayaların yüksek ısı ve basınca maruz kalmaları sonucunda başkalaşım geçirmeleriyle oluşmuş olan kayalardır. Bu kayaların görünüm ve özellikleri maruz kalmış oldukları ısı ve basıncın derecesine bağlıdır. Isı ve basıncın düşük oranda olması küçük yapısal değişimlere yol açarken, yüksek oranda olması önemli değişimlere sebep olmaktadır. Kayadaki genel kimyasal bileşimi aynı kalırken, kayacın içeriğinde mineral bileşiminde değişimler meydana gelmektedir (Hunter ve ark., 2015). Isı ve basıncın etkisiyle meydana gelen değişimler kireçtaşının mermere dönüşmesi, kumtaşının kuvarsite dönüşmesi, şeylin şışte dönüşmesi gibi olmaktadır (Eren, 2005). Metamorfik kayalara örnek olarak; mermer, sleyt, fillit, şışt, anfibolit, hornfell, gnays, serpantin gibi kayalar verilebilir. Metamorfik (başkalaşım) taşların sınıflandırılması ve sınıf içerisinde yer alan bazı taşlar Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Metamorfik (Başkalaşım) taşların sınıflandırılması

## **2.2. Agregas**

Agreganın tanımı KTŞ 2013 terimler kısmında; belirli gradasyon ve kaliteye sahip kayaç parçaları, çakıl, kırmataş, kum vb. gibi mineral malzeme veya bunların karışımı olarak yer almaktadır. Her türlü yapı inşaatında kullanılan, inşaat sektörünün vazgeçilmez yapı taşıdır. Agregas; beton, asfalt, temel ve alttemel malzemesi vb. üretiminde hammadde olarak yer almaktadır.

Agregalar birçok farklı özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırma işlemiyle agregalar daha iyi tanınmakta ve birbirinden farklı özellikleri bulunan agregalar yol üstyapılarında doğru bir şekilde kullanılabilirlerdir.

Agregalar genel olarak mineralojik, boyut, gradasyon, biçim, yüzey yapısı, porozite, yüzey alanı ve boşluk, özgül ağırlık gibi özellikleriyle sınıflandırılırlar (Tunç, 2007).

### **2.2.1. Mineralojik sınıflandırma**

Agregalar doğal agregalar ve yapay agregalar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Doğal agregalar denizlerden, göllerden, ırmaklardan, taş ocaklarından elde edilen ve silisyum, alüminyum, demir, kalsiyum, magnezyum, sodyum gibi mineral bileşimi olan agregalardır (İlçali ve ark., 2001).

Yapay agregalar ise, yüksek fırın cürufu, klinker, eski betonların kırılması gibi atık malzemelerin değerlendirilmesi suretiyle elde edilmektedir. Bu agregalar 25 mm'den büyük kısımlarının konkasörde kırılmak suretiyle istenilen granülometrik boyuta getirilmesiyle kullanılmaktadır (Tunç, 2007).

### **2.2.2. Boyut sınıflandırması**

Agregalar boyutlarına göre kaba agrega, ince agrega ve filler olarak sınıflandırılırlar. Elek analizi işleminden sonra elek açıklığı 4.75 mm olan No.4 elek üzerinde kalan çakıl, kırmataş, kırılmış cüruf, teras çakılı gibi malzemelerin oluşturduğu agregalar kaba agrega olarak adlandırılır. No.4 eleğinden geçip, elek açıklığı 0.075 mm olan No.200 elek üzerinde kalan doğal kum, ince çakıl, cüruf kumu gibi malzemelerin oluşturduğu

agregalar ince agrega olarak adlandırılır. Filler agregalar ise malzemenin tamamı 0.425 mm (No.40) eleğinden geçip en az %70' i No.200 eleğinin altına geçen taştuzu, mermer tozu, kalker tozu gibi malzemelerden oluşan agregalar filler agregalar olarak adlandırılır (Orhan, 2012).

Çakıl, kırmataş gibi kaba agregalar karışımın ana yapısını oluşturmaktadır. İnce agregalar ve filler malzemeler ise kaba agregalar arasında kalan boşlukları doldurarak malzemeyi hem yoğun hem de daha stabil yapmaktadırlar. Filler malzeme karışımında düşük bir oranda bulunmasına rağmen karışımında önemli rol oynamaktadır. Filler malzeme bitümlü sıcak karışım tabakalarındaki boşluğu doldurmakta, bağlayıcılığı artırmaktadır (Umar ve Ağar., 1991).

### **2.2.3. Gradasyon sınıflandırması**

Gradasyon, agrega karışımında bulunan malzemelerin tane boyutlarına göre agrega içindeki dağılımını ve ağırlıkça oranlarını ifade etmektedir. Agrega gradasyonu belirlenirken agrega taneleri ebatlarına göre gruplara ayrılır. Bu gruplardaki her agreganın ağırlığı belirlenerek tüm agrega içerisinde ne oranda yer aldığı bulunur. Bu işlem elek analizi yapılmak suretiyle belirlenmektedir. Gradasyonu belirlenen agregaların yoğunluk, dren kabiliyeti, stabilite gibi özellikleri hakkında bilgi sahibi olunur (KTŞ 2013).

Yoğun sürekli gradasyon iyi derecelenmiş gradasyon olarak ifade edilmektedir. Burada kaba ve ince malzemeler agrega karışımı içerisinde en uygun oranlarda bulunduğundan karışım maksimum yoğunlukta veya bir diğer deyişle minimum boşluk oranında olduğundan tercih edilen gradasyon türüdür (Tunç, 2007).

Boşluklu-sürekli gradasyon içerisinde ince malzemenin olmadığı bir gradasyon türüdür. Açık gradasyon olarak da adlandırılır. İnce malzeme olmadığından dolayı boşluk oranı yüksektir. Bu gradasyon türü trafik hacminin az olduğu temel tabakalarında kullanılabilir. Ayrıca ince malzeme olmadığından dolayı kaba malzeme oranı fazla demektir. Bu durumda drenaj özelliklerinin önemli olduğu alttemel tabakalarında tercih edilebilecek gradasyon türüdür (Tunç, 2007).

Kesikli gradasyon türü ise belirli tane boyutlarının olmadığı bir gradasyon türüdür. Düzenli bir gradasyon olmadığından dolayı boşluk miktarı fazladır. Karayolları yol tabakalarında tercih edilmemektedir (Tunç, 2007).

Tek boyutlu gradasyon türü ise tanelerinin büyük kısmının aynı boyut aralığında olduğu gradasyondur. Üniform gradasyon olarak da adlandırılır. Gradasyon eğrisi dike yakın şekildedir.

Alttemel ve temel tabakalarında kullanılacak olan agregaların gradasyonunun belirlenmesi son derece önemlidir. Çünkü gradasyon stabilite, drenaj, don duyarlılığı gibi etkenlerde önemli bir etkiye sahiptir. Açık gradasyon iyi bir drenaj sağlarken, yoğun gradasyon iyi bir stabilite sağlamaktadır. Bu da kaba ve ince malzeme miktarının karışımdaki durumlarının önemini göstermektedir. İnce malzemenin çok az olduğu veya hiç olmadığı bir karışımda kaba agrega miktarı fazla olduğundan dolayı maksimum stabiliteye erişilir. Kaba agregalardan dolayı sıkışma miktarı az olur. Dren kabiliyeti yüksek olur. Karışımda eğer boşlukların tamamının ince malzeme ile dolu olduğu durumda maksimum stabilite ve maksimum yoğunluk elde edilmektedir. Kaba agreganın ince agrega içinde çok düşük miktarda bulunduğu durumda stabilitesi düşük, geçirgenliği az bir tabaka elde edilebilecektir (Tunç, 2007).

#### **2.2.4. Biçim sınıflandırması**

Agrega taneleri biçimsel olarak iki boyutlu ve üç boyutlu şekillerde biçim sınıflandırmasına tabi tutulurlar. İki boyutlu biçimde olanlar yuvarlak, yarı-yuvarlak, yarı köşeli ve açısız (köşeli) olarak sınıflandırılırken, üç boyutlu biçim sınıflandırmasında küresel, kübik, yassı ve ince-uzun taneler ihtiva edilmektedir. Açısız (köşeli) agregaların tutunabilme noktaları fazla olduğundan içsel sürtünme açıları ve deformasyon dirençleri yuvarlak agregalara göre daha fazla olmaktadır. Bu sebeple yol inşaatlarında kırmataş agregalar kullanılmalıdır (Orhan, 2012).

Yol üstyapılarında stabiliteyi azaltan yassı ve uzun taneli agregaları kullanmaktan kaçınılmalıdır. Çünkü bu tür agregaların yük karşısındaki direnci oldukça düşük olmaktadır ve çabuk kırılarak karışımın gradasyonunun bozulmasına yol açmaktadır.

Taneler nominal boyutunun %60'ından daha küçük olursa yassı olarak değerlendirilirler. Yassılık indeksi tane büyüklüğü 4 mm den büyük, 80 mm den küçük tanelere uygulanmaktadır (TS EN 933-3, 1999).

### **2.2.5. Yüzey yapısı sınıflandırması**

Agregalar yüzey yapılarına göre pürüzlü, düzgün yüzeyle ve cilalı yüzeyle olarak ayrılmaktadır. Agregalar yüzey yapıları üstyapı performansını etkileyen önemli hususlardan birisidir. Pürüzlü agregaların kenetlenme, kaymaya karşı dirençleri, içsel sürtünme açıları fazladır. Cilalı agregalar adezyon kuvveti zayıf olduğundan kolay soyulabilme eğilimindedir. Bu sebeple üstyapı katmanlarında pürüzlü yüzeye sahip kırmataş agregalar kullanılmalıdır.

### **2.2.6. Porozite sınıflandırması**

Porozite (iç gözeneklilik) karakteri agregalar için oldukça önemlidir. Bu gözeneklerin sayısı, boyutu ve sürekliliği, agregalar tanelerinin mukavemetini, aşınmaya karşı direncini, özgül ağırlığını, yapışabilme özelliğini, donma ve çözünmeye karşı direncini etkileyen önemli parametrelerdir.

Eğer malzeme çok porozlu olursa asfaltın fazla miktarda kullanımı söz konusu olacaktır. Bu durum maliyeti yükseltecektir. Ayrıca çok porozlu malzemenin yoğunluğu ve stabilitesi de düşük olmaktadır.

## **2.3. Karayolu**

Karayolu; iki nokta arasında, üzerinde kara ulaşımının yapıldığı, altyapısı olan, üstyapısı esnek, rijit ya da doğal taş kaplama vb. yapılarak kullanılan yoldur. Trafik akışına imkân sağlamak üzere kamunun yararlanmasına açık olan arazi şeritleri, köprüler, tüneller, her türlü sanat yapıları, koruma yapıları ve diğer alanlar karayolu içerisinde değerlendirilmektedir. Karayolu temelinde altyapı ve üstyapıdan oluşan bir sistemdir.

Yapımı tamamlanmış bir karayolunda, tesviye yüzeyi ile doğal zemin çizgisi arasındaki bölgeye 'karayolu altyapısı' denilir. Altyapı, yolun dolgu kesimlerinde taşınmış toprakla oluşturulan bir toprak gövde, yarma kısımlarında ise doğrudan doğal zemindir. Köprü, tünel, menfez, istinat duvarı, viyadük gibi sanat yapıları da altyapı içerisinde kabul edilir (Ilıcalı ve ark., 2001).

Altyapının görevleri; yol yapımına elverişli düzgün bir yüzey sağlamak, üstyapıdan gelen trafik yüklerini yaymak ve yolu dış etkilerden korumaktır. Bu nedenlerle altyapıyı oluşturan malzemelerin suya, don etkilerine ve ağır yüklere karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Bu nedenlerle altyapıyı oluşturan zemin özelliklerinin iyi etüt edilmesi gerekmektedir (Umar ve Ağar, 1991).

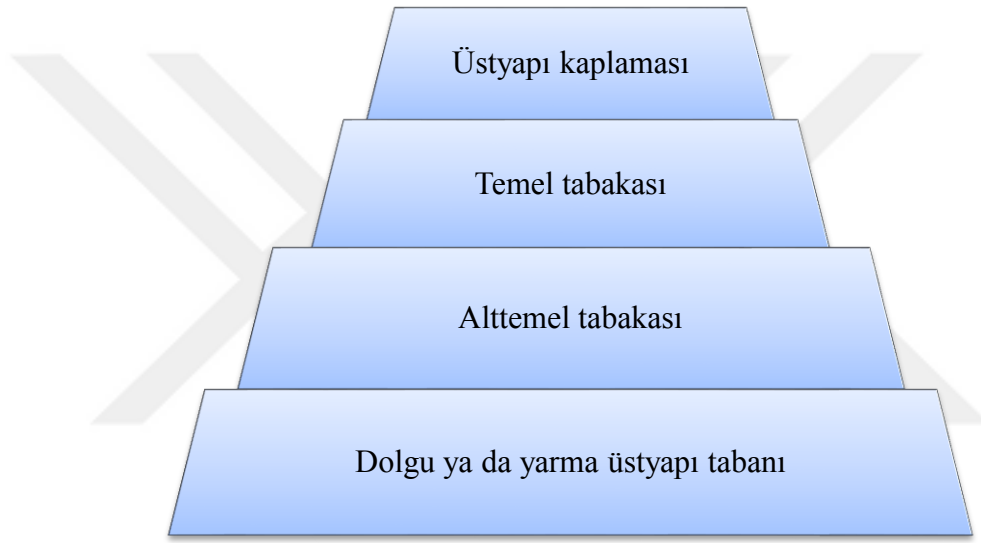
Yol üstyapısının üzerine inşa edildiği doğal zemin ya da uygun özelliklerdeki dolgu malzemeleri kullanılarak stabilize edilen, üst yapının taşıma gücüne etki eden ve belirli bir derinliğe kadar uzanan yapıya taban zemini denilmektedir. Taban zemini üst yapıdan gelen yükleri karşılamaktadır. Üst yapıdan gelen trafik yüklerinin zeminde herhangi bir bozulmaya yol açmaması ve taban zemininin trafik yüklerinin oluşturduğu gerilmelere karşı stabil olması gerekmektedir. Bu sebeplerle taban zemininin fiziksel ve mekanik özelliklerinin projelendirme öncesinde laboratuvar ortamında ve yerinde deneylere tabi tutulması gerekmektedir. Taban zemininin taşıma gücü parametreleri, dona karşı hassasiyeti, mineralojik bileşimi, mukavemeti, elastisite ve plastisite indeksleri, sıkışabilirliği gibi özellikleri incelenmelidir.

Taban zeminlerinde önemli bir hususta yeraltı su seviyesidir. Yeraltı su seviyesi taban zemininden en az 100 cm altta kalacak şekilde tutulmalıdır. Su hayattır ancak mühendislik yapıları için ciddi bir tehdit oluşturabilmektedir. Bu sebeple suyun yol taban zemininden uygun drenaj yöntemleri kullanılarak uzaklaştırılması gerekmektedir. Yolun uzun ömürlü olabilmesi, üstyapıda bozulmalar meydana getirmemesi için suyun drenajı oldukça önemlidir (Umar ve Ağar, 1991).

Üstyapı, trafik yüklerini altyapının taşıyabileceği değerlere indirmek, altyapıyı korumak ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak amacıyla altyapı üzerine yerleştirilen alttemel, temel ve kaplama tabakasından oluşan yol yapısıdır (Ilıcalı ve ark, 2001).



Üstyapılar, kaplama tabakasında kullanılan malzeme türlerine, özelliklerine ve yapım yöntemlerine göre rijit ve esnek olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Esnek ve rijit üstyapılar, farklı katmanlardan oluşan sistemlerdir. Sistem içerisinde her bir tabaka farklı özellikleri ile ön plana çıkar. En üstte yer alan kaplama tabakası genel olarak; esnek üstyapıda, asfalt; rijit üstyapıda ise beton olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde yol kesitinde daha çok esnek üstyapı tercih edilmektedir. Esnek üstyapı; yolların kullanım amaçları ve trafik yüklerine göre, sıcak asfalt ya da sathi kaplama olarak yapılmaktadır. Şekil 2.7’de kesit halinde gösterilen temel ve alttemel tabakaları; üstyapı kaplaması üzerinde trafik yükleriyle oluşan gerilmeleri sönmüleyerek taban zeminine iletmektedir.



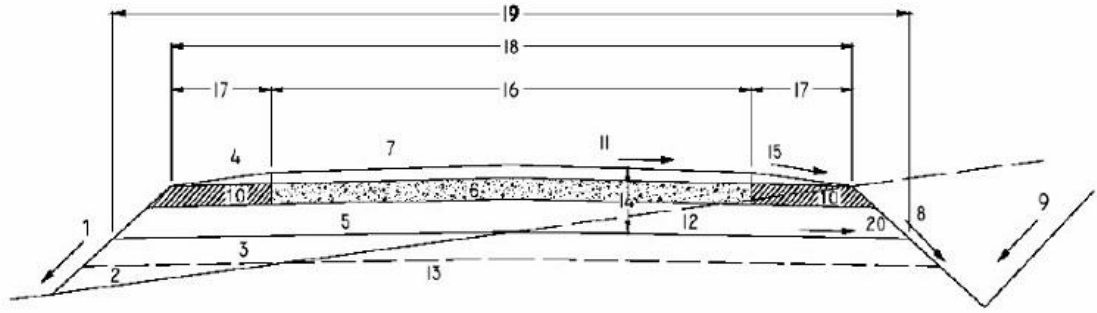
Şekil 2.6 Tipik yol kesiti katmanları

Temel ve alttemel tabaka kalınlıkları; üstyapı projelendirmelerinde, yolun taşıyacağı trafik yükü dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Projesine ve tekniğine uygun yapıldığı takdirde yolun kullanım ömrünü uzatmaktadır.

### 2.3.1. Esnek üstyapı

Esnek üstyapılar taban zemininin üzerine inşa edilen alttemel, temel ve bitümlü kaplama (aşınma ve binder) tabakalarından oluşan bir üstyapı türüdür. Esnek üstyapılarda tabakalar birbirleri ile sıkı bir temas halindedir. Üzerlerine gelen trafik yükleri kaplama tabakasından başlayarak temel, alttemel ve taban zeminine iletilir. Üstyapıyı oluşturan katmanlarda kullanılan malzemelerin belirli standartlarda olması

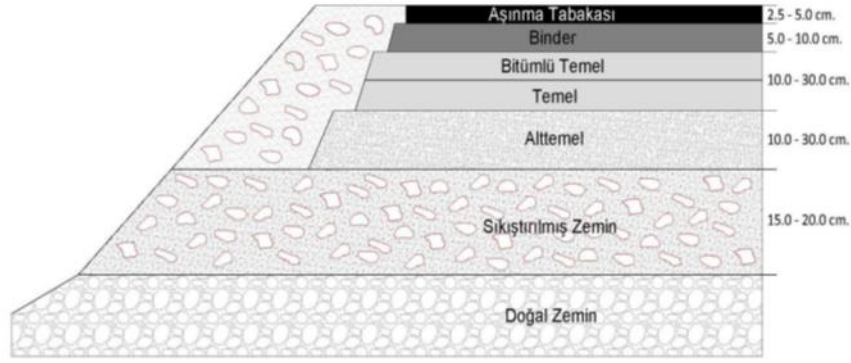
gerekir. Bu malzeme kalitesi standartları üst katmanlardan alt katmanlara doğru düşüş gösterebilir. Trafiğe doğrudan maruz kalan kaplama tabakasını oluşturan malzemelerin fiziksel özelliklerinin iyi olması arzu edilir. Kaplama tabakasından alt tabakalara doğru kullanılan malzemenin mekanik özellikleri, fiziksel özelliklerinde düşüş gözlenebilir. Esnek üstyapıyı oluşturan elemanlar şekil 2.8’ de, esnek üstyapı kesiti ve ortalama tabaka kalınlıkları şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Esnek üstyapıyı oluşturan elemanlar (Umar ve Ağar, 1991)

- |                           |                                 |
|---------------------------|---------------------------------|
| 1- Dolgu Şevi             | 11- Yolun Enine Eğimi           |
| 2- Doğal Zemin            | 12- Tesviye Yüzeyi              |
| 3- Seçme Malzeme Tabakası | 13- Yol Gövdesi                 |
| 4- Banket Kaplama         | 14- Üstyapı Kalınlığı           |
| 5- Alttemel               | 15- Banket Eğimi                |
| 6- Temel Tabakası         | 16- Trafik Şeritleri Güvenliği  |
| 7- Kaplama Tabakası       | 17- Banket Genişliği            |
| 8- Hendek Şevi            | 18- Platform Genişliği          |
| 9- Yarma Şevi             | 19- Üstyapı Taban Genişliği     |
| 10- Banket Temeli         | 20- Taban Yüzeyinin Enine Eğimi |

Esnek üstyapıyı oluşturan katmanların belirli bir kalınlıkta olması gerekmektedir. Bu kalınlıklar belirlenirken taban taşıma gücü parametreleri, trafik yükleri, trafik hacmi, hizmet ömrü gibi parametreler göz önünde bulundurularak projelendirme yapılır (Umar ve Ağar, 1991).



Şekil 2.8 Esnek üstyapı kesiti ve ortalama tabaka kalınlıkları (Kaya, 2014)

### 2.3.2. Alttemel tabakası

Trafik yüklerinden meydana gelen gerilmelerin taban zeminine yayılmasını sağlamak, ince daneli altyapıların temel tabakasına nüfuz etmelerini engellemek üzere inşa edilir. Ayrıca don etkilerine karşı tampon bölge görevini üstlenmektedir (İlcalı ve ark., 2001).

Alttemel tabakası, kaplama ve temel tabakalarına göre daha az gerilmelere maruz kaldığından dolayı imalatında kullanılacak malzemeler daha düşük kalitede olabilmektedir. Ancak bu malzemelerin yüksek dren kabiliyetine sahip malzemeler olması, yüksek CBR ve içsel sürtünme açısına sahip malzemeler olması gerekmektedir (Tunç, 2007). Kullanılacak olan malzeme cinsine göre alttemel tabakasının sahip olması gereken kalınlıklar Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Malzeme cinsine göre alttemel kalınlıkları

Malzeme Cinsi	Minimum Alttemel Kalınlığı, cm
Çakıl ve Kırmataş	20
Mekanik Stabilizasyon	20
Çimento ile Stabilizasyon	15-18
Bitüm ile Stabilizasyon	15-18
Kireç ile Stabilizasyon	15-18

Alttemel tabakasını oluşturan malzemelerin belirli bir granülometride olması gerekmektedir. Alttemel imalatında kullanılacak olan malzemeler bulunan çevreden elde edilebilecek olan atık malzemeler de olabilir.

Kullanılacak olan bu malzemelerin alttemel fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri için bazı özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Bu özellikler; uygun granülometri, yüksek stabilite, drenaj özelliklerini sağlayacak şekilde uygun boşluklu bir gradasyon, yüksek CBR ve içsel sürtünme açısı, iyi derecelenme, filler miktarı az olan ve çok az plastisiteli yapı, kübik, yassı ve uzun olmayan pürüzlü şekil, mukavemet ve dona karşı duyarlılık olarak sayılabilir (Tunç, 2007). Kum, çakıl, kırmataş, yüksek fırın cürufaları, kazınmış asfalt, endüstriyel atık malzemeleri gibi malzemeler alttemel yapımında kullanılabilir (KTŞ 2013).

Alttemel, KTŞ 2013’de kullanılacak malzemeye göre Tip-A ve Tip-B olmak üzere iki ayrı gradasyon limitlerinde hazırlanmaktadır. Alttemel malzemesi gradasyon limitleri Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Alttemel malzemesi gradasyon limitleri

Elek Açıklığı		TİP-A	TİP-B
mm	In	%Geçen	%Geçen
75	3	100	-
50	2	-	100
37.5	1 ½	85-100	80-100
25	1	-	60-90
19	¾	70-100	45-80
9.5	3/8	45-80	30-70
4.75	No.4	30-75	25-55
2.00	No.10	-	15-40
0.425	No.40	10-25	10-20
0.075	No.200	0-12	0-12

Çizelge 2.2’de belirtilen sınır şartlarının dışında, malzemenin; 0.075 mm eleği geçen kısmı 0.425 mm eleği geçen kısmının 2/3’ünden fazla olmaması gerekmektedir. Ayrıca alttemel malzemesi, kum-çakıl veya taş ocaklarından kırılarak hazırlanması durumunda malzemenin gradasyonu Tip-B gradasyon limitlerine uygun olma şartı vardır.

Alttemel tabakasında kullanılacak malzemelerin sahip olması gereken özellikler çeşitli deneylerle ölçülmelidir. KTŞ 2013'e göre alttemel tabakasında kullanılacak malzemelere yapılması gereken deneyler ile deneylerde kullanılan standartlar ve deneyler sonucunda sağlanması gereken değerler Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3 Alttemel malzemesi fiziksel özellikleri

Deney Adı		Şartname Limitleri	Deney Standardı
% Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, MgSO4 ile kayıp, %		≤ 25 (MS25)	TS EN 1367 - 2
Parçalanma Direnci (Los Angeles), %		≤ 45 (LA45)	TS EN 1097 - 2* AASHTO T 96
Yassılık İndeksi, %		35	BS 812
		≤ 30 (FI30)	TS EN 933-3*
Su Emme (Kaba ve İnce Agregada), %		≤ 3.5 (WA24 3,5)	TS EN 1097 - 6
Likit Limit, %		≤ 25	TS 1900-1 AASHTO T 89
Plastisite İndeksi, %		≤ 6	TS 1900 - 1 AASHTO T 90
Kil Topağı ve Dağılabilen Dane Oranı, maksimum %		İri Malzeme (4.75 mm elek üstü) ≤ 2	ASTM C 142
Organik Madde, (%3 NaOH ile)		Negatif	TS EN 1744-1
Metilen Mavisi (MB,g/kg)	İnce agreganın 0/2 mm'lik kısmına	≤ 4.0 (MB4.0) ≤ 5.5 (MB5.5)**	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmına	≤ 5.5 (MB5.5)**	
* Referans Metot			
** Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanamaması durumunda bu şart aranacaktır.			

Çizelge 2.3'de yer alan şartlara ilave olarak, Modifiye Proktor Deneyi (AASHTO T 180, TS 1900-1) ile bulunan maksimum kuru birim ağırlığının %98'sine kadar

sıkıştırılan numunelerin yaş CBR (AASHTO T 193, 1900-2) değerleri Tip-A için minimum %30, Tip-B için ise minimum %50 olmalıdır.

Standartlarda belirtilen deneylerin yapılması suretiyle alttemel yapımında kullanılacak malzemenin belirtilen değerlere uygun olup olmadığı kontrol edilmektedir. Gradasyon ve fiziksel özelliklerden sonra bir diğer önemli hususta serme ve sıkıştırma işlemlerinin uygulanmasıdır.

Yol yüzeyinin tesviye edilmesinden sonra malzemenin serim işlemine geçilir. Alttemel malzemesinin kalınlığı 20-30 cm olmaktadır. Serim işlemi tabakalar arasında homojen olacak şekilde yapılmalıdır. Serme işlemi malzemenin alındığı yere en uzak yerden başlayacak şekilde malzemenin alındığı yere doğru yapılmaktadır. Alttemel tabakası üst yapının diğer tabakalarına nazaran daha kalın imal edildiğinden serim işleminin birden fazla tabakalar halinde yapılması gerektiği durumlarda oluşabilmektedir. Bu durumda tabakaların kalınlıklarının eşit şekilde yapılması gerekmektedir (KTŞ 2013).

KTŞ 2013’de yer alan alttemel için belirtilen Tip-A ve Tip-B için gerekli olan sıkıştırma kriterleri Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2.4 Alttemel sıkıştırma kriterleri (KTŞ 2013)

TİP-A	Sıkışma, Minimum %	96	Modifiye Proktor TS 1900-1, AASHTO T 180
	Optimum Su İçeriği %	$W_{opt} \pm 2$	Modifiye Proktor TS 1900-1, AASHTO T 180
TİP-B	Sıkışma, Minimum %	98	Modifiye Proktor TS 1900-1, AASHTO T 180
	Sıkışma, Minimum %	95	Titreşimli Tokmak TS 1900-1, BS 1377
	Optimum Su İçeriği %	$(W_{opt}-2) - W_{opt}$	Modifiye Proktor TS 1900-1, AASHTO T 180
	Optimum Su İçeriği %	$W_{opt} \pm 1$	Titreşimli Tokmak TS 1900-1, BS 1377

Serim işlemleri tamamlanan malzeme için sıkıştırma işlemine geçilir. Malzemelerin sıkıştırılması işlemine yolun en düşük kotundan başlanır ve en yüksek kotuna doğru sıkıştırma işlemine devam edilir. Sıkıştırma sırasında malzemelerde bozulma, ayrışma gibi özellikler görülebilir. Bu durumda bu malzemeler alınarak yeni malzemelerle sıkıştırma işlemine devam edilir (Tunç, 2007).

Sıkıştırma işlemi statik çizgisel yükü 30 kg/cm den büyük titreşim sistemine sahip düz silindirler veya lastik başına yükü en az 3500 kg olan lastik tekerlekli silindirler kullanılarak yapılmalıdır.

### **2.3.3. Temel tabakası**

Esnek üstyapıyı oluşturan tabakalardan biriside temel tabakasıdır. Temel tabakası kaplama tabakası ile alttemel tabakası arasına inşa edilen granülometrisi ve kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından alttemel tabakasına göre daha iyi olan bir tabakadır. Başlıca görevleri; alttemel tabakasına, üstyapıdan gelen trafik yükünü taban zeminine yaymada yardımcı olmak, trafiğin oluşturduğu darbe etkilerini azaltmak, yüksek stabilite ve yüksek dren kabiliyeti sağlamak, don etkilerine karşı koruma sağlamak, kaplama tabakasına belirli bir esneklik sağlamak gibi görevleri bulunmaktadır (Yayla, 2004).

Karayolları teknik şartnamesinde üç tip temel tabakası tanımlanmıştır. Bu tabakalar; granüler temel (GT) yada diğer adlandırmasıyla mekanik stabilizasyon temel, plentmiks temel (PMT), çimento bağlayıcılı granüler temel (ÇBGT)'dir. Bu temel tiplerinin tümünde kullanılacak olan agregalar; çakıl, kırmataş, kum, cüruf ve benzeri malzemeler kullanılmaktadır. Ayrıca endüstriyel işlemler sonucu atık olarak depolanan malzemelerde gerekli kalite kontrol deneylerinden geçirmek suretiyle uygun granülometrede hazırlanarak temel malzemesi olarak kullanılabilirler.

Temel tabakası, alttemel tabakası ile kaplama tabakası arasında, üstten gelen yükleri ve ek gerilmeleri karşılayarak alt tabakaya iletir. Ayrıca esneklik sağlayarak üst kaplamanın kırılmasını önlemektedir. KTŞ 2013'de yer alan temel malzeme kaba agrega fiziksel özellikleri Çizelge 2.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 Temel malzemesi kaba agrega fiziksel özellikleri

Deney Adı	Şartname Limitleri	Deney Standardı
% Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, MgSO <sub>4</sub> ile kayıp, %	≤ 20 (MS20)	TS EN 1367 - 2
Parçalanma Direnci (Los Angeles), %	≤ 35 (LA35)	TS EN 1097 - 2* AASHTO T-96
Kil Topağı ve Dağılabilen Tane Oranı, %	≤ 1	ASTM C-142
Yassılık İndeksi, %	30	BS 812
	≤ 25 (FI25)	TS EN 933-3*
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1 (Madde 15.1)
Su Emme (Kaba ve İnce Agregada), %	≤ 3 (WA243)	TS EN 1097 – 6 (Madde 8)
* Referans Metot		

KTŞ 2013’de yer alan temel malzeme ince agrega fiziksel özellikleri ise Çizelge 2.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6 Temel malzemesi ince agrega fiziksel özellikleri

Likit Limit, %	NP	TS 1900-1 AASHTO T 89
Plastisite İndeksi, %	NP	TS 1900 - 1 AASHTO T 90
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1 (Madde 15.1)
Metilen Mavisi Mb G/Kg	İnce agreganın 0/2 mm’lik Kısmına ≤ 3 (MB 3) ≤ 4.5 (MB 4.5)*	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmına ≤ 4.5 (MB 4.5)*	
*Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanamaması durumunda bu şart aranacaktır.		



Temel tabakasının farklı bir tanımı ise; kaplama tabakasının hemen altına inşa edilen, daneli veya uygun bir bağlayıcı ile işlem görmüş malzemelerden hazırlanan bir tabaka olduğu şeklindedir. Temel tabakasının en önemli görevi, kaplama tabakasına destek olarak üstyapının yük taşıma kabiliyetini arttırmaktır. Trafik yüklerinden meydana gelebilecek kayma gerilmelerine karşı direnebilmeli ve yüksek nem oranına karşı dengesini yitirmemelidir. Ayrıca temel tabakası, drenaja yardımcı olur ve böylece don etkisine karşı da ek bir koruma sağlar (Umar ve Ağar, 1985).

### Granüler temel (GT)

Mekanik stabilizasyon temel tabakası olarak da adlandırılan bu tabaka uygun fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olan agreganın optimum su içeriğinde karıştırılarak taban veya alttemel tabakası üzerine projesinde belirtilen profil ve enkesitlere uygun olarak maksimum kuru yoğunluğa kadar sıkıştırılmasıyla elde edilen bir tabaka olarak adlandırılmaktadır (KTŞ 2013). Bu temel tabakası trafik yükleri altında kalıcı deformasyon yapmadığından ötürü mekanik açıdan stabil olarak adlandırılır. Granüler temel tabakası, plent-miks temel ve çimento bağlayıcılı granüler temel tabakalarına göre yapımı daha ekonomik olmaktadır (Tunç, 2007). KTŞ 2013’de yer alan granüler temel tabakası gradasyon limitleri Çizelge 2.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.7 Granüler temel tabakası gradasyon limitleri

Elek Açıklığı		%Geçen		
mm	In	TİP-A	TİP-B	TİP-C
50	2	100		
37.5	1 ½	80-100	100	
25	1	60-90	70-100	100
19	¾	45-80	60-92	75-100
9.5	3/8	30-70	40-75	50-85
4.75	No.4	25-55	30-60	35-65
2.00	No.10	15-40	20-45	25-50
0.425	No.40	8-20	10-25	12-30
0.075	No.200	2-8	0-12	0-12

Karayolları Teknik Şartnamesi 2013’de yer alan temel tabakasında kullanılacak malzemeye ilişkin bazı ilave şartlar maddeler halinde aşağıda verilmektedir.

- Granüler temel malzemesinin; 4.75 mm elek üzerinde kalan kısmının ağırlıkça en az %50’sinin iki veya daha fazla yüzü kırılmış olmalıdır. Malzemenin 0.075 mm eleği geçen kısmı, 0.425 mm eleği geçen kısmının 2/3’ünden fazla olmamalıdır.
- Modifiye Proktor Deneyi (AASHTO T 180, TS 1900-1) ile bulunan maksimum kuru birim ağırlığının %98’ine kadar sıkıştırılan numunelerin yaş CBR (AASHTO T 193, 1900-2) değerleri %100’den az olmamalıdır.
- Tip A ve B her türlü yol yapımında kullanabilmekte olup, Tip-C sadece sathi kaplamalı yapılan il yollarında projesine bağlı olarak kullanılabilir.
- Sathi kaplamalı devlet yollarında ve asfalt betonu ile kaplama yapılacak yollarda Tip-A veya Tip-B, sathi kaplamalı şehir yollarında üç tipte kullanılabilir.

Agregaların karıştırılması işlemi sabit veya hareketli bir plentde ya da yolda greyder kullanılarak yapılmalıdır. Serme işlemi uniform olacak şekilde yapılmalı ve serilen tabakanın kalınlığı en fazla 20 cm olmalıdır. Serme işlemine malzemenin alındığı yere en uzak olan noktadan başlanarak gelinir. Serme işi sıkıştırma işinden en çok 200 m ileride olacak şekilde yapılır. Böylece sıcak hava koşullarında malzemede oluşacak nem kaybı azaltılmış olacaktır (KTŞ 2013).

KTŞ 2013’de belirtilen granüler temel tabakası sıkıştırma işlemi kriterleri Çizelge 2.8’de verilmiştir.

Çizelge 2.8 Granüler temel tabakası sıkıştırma kriterleri

Minimum Sıkışma, %	98	Modifiye Proktor TS 1900-1, AASHTO T 180
	95	Titreşimli Tokmak TS 1900-1, BS 1377
Optimum Su İçeriği, %	$W_{opt} - 2$ - $W_{opt}$ $W_{opt} \pm 1$	Modifiye Proktor Titreşimli Tokmak

### Plent-miks temel (PMT)

Plent-miks temel tabakası çakıl, kırmataş, cüruf, ince malzeme gibi malzemeler kullanılarak yapılan Çizelge 5.9’da verilen gradasyon limitleri içerisinde fiziksel özellikleri sağlayan iyi gradasyonlu agreganın optimum su içeriğinde karıştırılarak serilmesi biçiminde oluşturulan bir temel tabakası türüdür (Tunç, 2007).

KTŞ 2013’de yer alan şartlar doğrultusunda, plent-miks temel tabakası gradasyon limitleri Çizelge 2.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 2.9 Plent-miks temel tabakası gradasyon limitleri

Elek Açıklığı		% Geçen	
mm	In	Tip - 1	Tip - 2
37.5	1	100	
25	1	72 - 100	100
19	$\frac{3}{4}$	60 - 92	80 - 100
9.5	$\frac{3}{8}$	40 - 75	50 - 82
4.75	No.4	30 - 60	35 - 65
2	No.10	20 - 45	23 - 50
0.425	No.40	8 - 25	12 - 30
0.075	No.200	0 - 10	2 - 12

Tip-1 ve Tip-2 seçimleri plent-miks temel tabakasının kalınlığına göre seçilir. Kalınlığı 15 ve üzerinde olması halinde Tip-1, kalınlığın 15 cm altında olması durumunda ise Tip-1 veya Tip-2 seçilir.

Malzemenin serim işlemi finişer kullanılarak yapılır ve tek seferde serilen tabaka kalınlığının teknik şartnamede belirtildiği üzere 20 cm yi geçmemesi gerekir. Sıkıştırma işlemleri granüler temel tabakasında açıklandığı gibidir.

KTŞ 2013’de yer alan şartlar doğrultusunda plent-miks temel sıkıştırma kriterleri ise çizelge 2.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 2.10 Plent-miks temel tabakası sıkıştırma kriterleri

Minimum Sıkışma, %	100	Modifiye Proktor TS 1900-1,AASHTO T 180
	97	Titreşimli Tokmak TS 1900-1,BS 1377
Optimum Su İçeriği, %	W(opt-1) - Wopt Wopt ± 0.5	Modifiye Proktor Titreşimli Tokmak

### Çimento bağlayıcılı granüler temel (ÇBGT)

Çimento bağlayıcılı granüler temel tabakası gradasyon limitleri Çizelge 2.11’de verilmiştir.

Çizelge 2.11 Çimento bağlayıcılı granüler temel tabakası gradasyon limitleri

Elek Açıklığı		% Geçen
mm	in	
37.5	1	100
25	1 1/2	72 - 100
19	3/4	60 - 92
9.5	3/8	40 - 75
4.75	No.4	30 - 60
2	No.10	20 - 45
0.425	No.40	8 - 25
0.075	No.200	0 - 10

Bu temel tabakası uygun fiziki ve mekanik özellikteki çakıl, kırmataş, cüruf, atık malzemeler gibi malzemelerin Çizelge 2.11’de verilen gradasyon limitleri içerisinde plentte çimento ve su katılarak hazırlanan optimum su içeriğinde karıştırılarak alttemel üzerine serim işlemi yapılan bir tabaka olarak tanımlanmaktadır (Tunç, 2007).

Temel tabakası su/çimento oranına göre oluşturulan bir tabakadır. Su/çimento oranının düşük tutulmaktadır. Bu tutum işlenebilirlikte azaltma oluştursa da stabil bir temel

tabakası oluşturmaktadır. Böylelikle yüksek standarda sahip yollarda kullanılabilir. Ayrıca bu temel tabakası çimento kullanılarak oluşturulduğundan dolayı imalatından serim yerine ulaşması ve serildikten sonra sıkıştırılması için 2 saatlik zaman dilimi şartnamelerde uygun görülmektedir. İşlemlerin daha uzun sürmesi durumlarında işlenebilirlik zorlaşmaktadır (Tunç, 2007).

#### **2.3.4. Kaplama tabakası**

Kaplama tabakası esnek üstyapıların en üstünde bulunan tabakadır. Aşınma ve binder tabakalarından oluşmaktadır. Trafik etkilerine en fazla maruz kalan tabakadır. Bu sebeple üstyapının diğer tabakalarına nazaran daha yüksek bir elastisiteye sahip olmalıdır. Kaplama tabakasının kalınlığının fazla olması kaplama altı tabakaların davranışını da etkilemektedir. Kalınlık arttıkça temel ve alttemel üzerine gelen basınç miktarında azalma dolayısıyla yolun direncinde önemli ölçüde artmış olacaktır (Umar ve Ağar, 1991).

Kaplama tabakasının işlevlerini özetleyecek olursak, kalıcı deformasyonlara maruz kalmadan yükü alt tabakalara iletebilmeli, deformasyon direnci iyi olmalı, pürüzsüz bir sürüş konforu sağlayarak emniyeti artırmalı, yüzeysel suların alt tabakalara sızıntı yapmasını engellemeli, esneklik modülü diğer katmanlara göre daha fazla olmalı yani geçici deformasyonlar yapabilmelidir (Tunç, 2007).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde traverten atığı malzemelere KTŞ 2013’de temel ve alttemel tabakalar için öngörülen deneyler uygulanmıştır. Deneyler Milli Savunma Üniversitesi Hava Astsubay Meslek Yüksek Okulu Müdürlüğü İnşaat Teknolojisi Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır.

Deneyler için, Alaşehir (Manisa) bölgesindeki taş ocaklarından çıkan traverten atığı malzeme temin edilmiştir. Yaklaşık 150 kg traverten atığı numunesi laboratuvar ortamında taş kırma yöntemi ile uygun dane boyut aralığına getirilmiştir.

Traverten atığı malzemenin, alttemel ve temel tabakalarında kullanılabilirliğinin belirlenebilmesi için aşağıda belirtilen deneyler yapılmıştır.

- Elek analizi deneyi,
- MgSO<sub>4</sub> ile yapılan hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi,
- Los Angeles aşınma deneyi,
- Yassılık indeksi deneyi,
- Kaba ve ince agregada su emme deneyi,
- Likit limit ve plastik limit deneyi,
- NaOH ile yapılan organik madde deneyi,
- Metilen mavisi deneyi,
- Kil topağı ve dağılabilen tane oranı deneyi,
- Proktor ve CBR deneyleri.

#### 3.1. Elek Analizi Deneyi

Elek analizi malzemenin uygun gradasyon limitleri içerisinde olup olmadığını belirlemek için yapılan bir deneydir. Laboratuvar ortamında hazırlanan traverten atığı numunenin, KTŞ 2013’de belirtilen alttemel ve temel malzeme standartlarında olup olmadığı tespit edilmiştir.

Deneyde TS EN 1900-1 standardı esas alınmıştır.

Deneyde kullanılan cihaz ve malzemeler;

- Deney elekleri; 50; 37.5; 25; 19; 9.5; 4.75; 2; 0.425; 0.075 mm
- Terazî
- Tepsi

Deney için belirli miktarda alttemel ve temel malzemesi hazırlanmıştır. Deney alttemel ve temel numuneleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Deney numuneleri sırasıyla eleklerden geçirilerek elek üstü kalan miktarlar ve geçen yüzdelere tespit edilmiştir. Şekil 3.1’de elek analizi deney aşamalarından fotoğraflar yer almaktadır.



Şekil 3.9 Elek analizi aşamaları

### 3.2. MgSO<sub>4</sub> İle Yapılan Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi

Deneyde, agregaların magnezyum sülfat çözeltisine daldırılması ve takiben kurutulmasıyla periyodik işleme maruz bırakılarak donma/çözülme etkisine karşı direncinin bulunması amaçlanmaktadır. Deneyde TS EN 1367-2: 2011 standardı esas alınmıştır.

Deneyde kullanılan cihaz ve malzemeler;

- Etüv
- Terazî (0.1 g hassasiyetli)
- Deney elekleri; 14 ve 10 mm göz açıklıklı
- Kaplar
- Tank odacıkları (sıcaklığı 20±2°C de muhafaza edebilen)

- Hidrometre
- Desikatör
- Tel sepet
- Termometre
- Süreölçer

Deney için, 10-14 mm elek arasında kalan 1000 g numune hazırlanmıştır. Numune havalandırılmalı etüvde 105°C'de 24 saat kurutulmuştur ve desikatörde 24°C'ye soğutulmuştur. Numune 10-14 mm eleklerle tekrar elenerek yaklaşık 500 g'lık numuneler elde edilmiştir. Numuneler damıtık su ile yıkanıp tozlarından arındırılmış, süzöldükten sonra etüvde 105°C'de 24 saat daha kurutulmuştur. Her bir deney numunesinden 420 g ve 430 g olacak şekilde tartılıp, kütleleri kaydedilmiştir. Numuneler dikkatlice iki tel sepete aktarılmıştır.

MgSO<sub>4</sub> Çözeltisi için; 1 litre suya, 1500 g kristal tuz (MgSO<sub>4</sub>) yavaş yavaş ilave edilmiştir. Laboratuvar sıcaklığında, toplam 2.50 litre çözelti hazırlanmıştır. Çözelti hazırlandıktan sonra tank odacığında 21°C'de 48 saat muhafaza edilmiştir. Kullanımdan önce, çözeltinin yoğunluğu ölçülmüş 1.297 g/mL olarak tespit edilmiştir.

Her bir tel sepet 17 saat süre ile 21°C'deki MgSO<sub>4</sub> çözeltisi içerisine daldırılmış ve buharlaşmaya karşı kapağı kapatılmıştır.

17 saat sonunda çözeltinin içerisinden çıkarılan her iki sepetin de suyu laboratuvar sıcaklığında 120 dakika bekletilerek süzdürülmüştür. Devamında etüvde 105°C'de 24 saatlik kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Etüvden çıkarılan sepetler 5 saat kadar laboratuvar sıcaklığında soğutulmuştur. Böylelikle bir döngü tamamlanmıştır. Bu şekilde dört döngü daha yapıp toplamda beş döngü sonunda numuneler, MgSO<sub>4</sub> kalmayacak şekilde yıkama işlemine tabii tutulmuştur. Yıkanmış numuneler etüvde 105°C'de 24 saatlik kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Numuneler ortam sıcaklığına soğutulduktan sonra eleme yapılarak 10 mm elek üstü miktarlar tespit edilmiştir.

Şekil 3.2'de MgSO<sub>4</sub> ile yapılan hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi deney aşamalarından fotoğraflar yer almaktadır.





Şekil 3.2 MgSO<sub>4</sub> ile hava tesirlerine karşı dayanıklılık deney aşamaları

### 3.3. Los Angeles Aşınma Deneyi

Deney, iri agregaların parçalanma direncinin tayini için yapılmaktadır. Deneyde TS EN 1097-2 standardı esas alınmıştır.

Deneyde kullanılan cihaz ve malzemeler;

- Deney elekleri; 1.6; 10; 11.2; 14 mm göz açıklıklı
- Terazi
- Etüv
- Malzeme kapları ve fırça
- Los Angeles deney aleti

Deney için TS EN 1097-2 standardına esas alınması gereken miktarlar Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Los Angeles aşınma deneyi alınması gerekli malzeme miktarı

Elek Aralığı, mm	Alınması Gereken Minimum Miktar, kg
14 – 10	15

İlave olarak ise TS EN 1097-2 standardı esas olarak malzeme Çizelge 3.2’de gösterilen 12.5 mm veya 11 mm elekten geçen yüzdeye uygun olmalıdır.

Çizelge 3.2 Los Angeles aşınma deneyi malzeme miktarı ilave şartlar

Elek Aralığı, mm	İlave Elek Çapı, mm	İlave Elekten Geçen Malzeme Miktarı, %
14 – 10	12.5	60 – 70
14 – 10	11.2	30 – 40

14 mm elekten geçen ve 10 mm elek üstünde kalan 15 kg numune 11.2 mm elekten geçirilmiş ve 11.2 mm deney eleğinden geçen agrega miktarı, % 30 ile % 40 arasında olması şartına istinaden elek altına geçen miktar 5300 g olarak belirlenmiştir. Malzeme yıkanıp etüvde ( $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ ) sabit kütleye erişinceye kadar kurutulmuştur. Bölgeç yöntemi ile ayrılan 5000 g ağırlığındaki numune toplam 11 adet bilye (toplam 4720 g) ile birlikte Los Angeles cihazının içine yerleştirilmiştir.

TS EN 1097-2 Standardında bilye yükü için, toplam 11 adet küresel çelik bilye ve her bir bilye, 400 g ila 445 g kütleye sahip ve toplam yük 4690 g ila 4860 g arasında olma şartı yer almaktadır. Kapağı kapatılarak makine 31 devir/dakika ilâ 33 devir/dakika arasında sabit hızda 500 devir döndürülmüştür. Tambur içinde malzeme kalmayacak şekilde numune malzeme tepsiye alınmıştır. 1.6 mm elek ile yıkamaya tabii tutulan malzeme sabit kütleye gelinceye kadar etüvde ( $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ ) kurutulmuştur. Etüv kurusu kalan numune tartılarak deney sonlandırılmıştır. Şekil 3.3 ve 3.4’de Los Angeles aşındırma deneyi aşamalarına ait fotoğraflar görülmektedir.



Şekil 3.10 Los Angeles aşınma deney aşamaları-1



Şekil 3.4 Los Angeles aşınma deney aşamaları-2

### 3.4. Yassılık İndeksi Deneyi

Deney, kalınlığı (en küçük boyutu) nominal boyutunun 0.6 'sından daha küçük olan kaba agrega danelerinin (63 mm – 6.3 mm elek aralığındaki) yassılık indeksi değerinin bulunmasını amacıyla yapılmaktadır. Deneyde BS 812 standardı esas alınmıştır.

Deneyde kullanılan cihaz ve malzemeler;

- Yassılık eleği şablonu
- Deney elekleri; 63; 50; 37.5; 28; 20; 14; 10 ve 6.3 mm göz açıklıklı
- Terazî

Deney alttemel ve temel malzeme için ortak numune kullanılarak yapılmıştır. Deney iki eleme işleminden oluşmaktadır. Numuneye ilk olarak elek analizi yapılmıştır. Malzemenin dane boyutu 63 mm elekten geçip 6.3 mm elek üzerinde kalacak şekilde ayarlanmıştır. Elek analizi deneyinde alttemel ve temel malzemesinin tamamı 50 mm elekten geçtiğinden, yassılık indeksi deneyinde en büyük elek çapı 50 mm olarak kullanılmıştır. BS 812 standardına esas elekler arası fraksiyonlara göre, en az olması gereken numune miktarları ve yassılık indeksi elek genişliği Çizelge 3.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.3 BS 812 yassılık indeksi numune miktarı

Elek Açıklıkları, mm		Yassılık İndeksi	Numune Miktarı
Geçen %100	Kalan %100	Elek Genişliği, mm	Minimum, kg
50	37.5	26.3 ± 0.3	35
37.5	28	19.7 ± 0.3	15
28	20	14.4 ± 0.15	5
20	14	10.2 ± 0.15	2
14	10	7.2 ± 0.1	1
10	6.30	4.9 ± 0.1	0.5

Çizelge 3.3'de belirtilen miktarlara göre yeterli malzeme hazırlanmıştır. Her bir elek aralığında kalan malzeme miktarları ve yüzdeleri hesaplanmıştır. Toplam kütleyle göre % 5'i veya daha az oran aralığında olan numuneler değerlendirme dışı bırakılmıştır. Numune malzeme elek aralığına uygun ebatta yassılık elek şablonundan geçirilerek, deney tamamlanmıştır.

### 3.5. Kaba ve İnce Agregada Su Emme Deneyi

Deney, kaba ve ince agregada su emme oranının tayini için yapılmaktadır. Deneyde TS EN 1097-6 (Madde 8) standardı esas alınmıştır.

Deneyde kullanılan cihaz ve malzemeler;

- Deney elekleri; 63; 45; 31.5; 16; 4; 0.063 mm göz açıklıklı
- Terazî
- Etüv
- Tepsi
- Tel sepet

Deney alttemel ve temel malzeme için ortak numune kullanılarak yapılmıştır. Numune malzeme, farklı tane büyüklüğü aralıklarından oluştuğundan, deney numunesi kısmı hazırlanmadan önce 31.5 mm – 63 mm, 4 mm – 31.5 mm ve 0.063 mm – 4 mm, tane büyüklüğü aralıklarına ayrılmıştır.

### 3.5.1. 31.5-63 mm tane büyüklüğüne sahip agregalarda su emme

31.5-63 mm arasında tane büyüklüğüne sahip agregalarda su emme deneyi yapılması için, TS EN 1097-6 (Madde 8) standardına esas, alınması gerekli minimum malzeme miktarları Çizelge 3.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 31.5-63 mm tane büyüklüğünde agrega miktarı

En Büyük Agrega Dane Boyutu Büyüklüğü, mm	Alınması Gereken Minimum Miktar, kg
63	15
≤ 45	7

Su emme deneyi için 45 mm elekten geçen 31.5 mm elek üstünde kalan numune malzeme hazırlanmıştır. Numune tel sepette, tamamı suyun içinde kalacak şekilde 24 saat bekletilmiştir. Suyu süzölmüş agrega tanelerinin yüzeyi bezlerle dikkatlice kurutulmuştur. Bütün su filmleri uzaklaştırılınca, doygun ve yüzeyi kuru traverten atığı numune tartılmıştır. Sonrasında malzeme 24 saat boyunca etüvde (105°C) sabit kütleye erişinceye kadar kurutulmuştur.

### 3.5.2. 4-31.5 mm tane büyüklüğüne sahip agregalarda su emme

4-31.5 mm arasında tane büyüklüğüne sahip agregalarda su emme deneyi yapılması için, TS EN 1097-6 (Madde 8) standardına esas, alınması gerekli minimum malzeme miktarları Çizelge 3.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 4-31.5 mm tane büyüklüğünde agrega miktarı

En Büyük Agrega Dane Boyutu Büyüklüğü, mm	Alınması Gereken Minimum Miktar, kg
31.5	5
16	2
8	1

Su emme deneyi için 16 mm elekten geçen 4 mm elek üstünde kalan numune malzeme hazırlanmıştır. Numune tepsi içerisinde tamamı suyun içinde olacak şekilde 24 saat bekletilmiştir. Suyu süzölmüş agrega tanelerinin yüzeyi bezlerle dikkatlice kurutulmuştur. Bütün su filmleri uzaklaştırılınca, doymuş ve yüzeyi kuru traverten atığı numune tartılmıştır. Malzeme 24 saat boyunca etüvde (105°C) sabit kütleye erişinceye kadar kurutulmuştur.

### 3.5.3. 0.063-4 mm tane büyüklüğüne sahip agregalarda su emme

0.063-4 mm arasında tane büyüklüğüne sahip agregalarda su emme deneyi yapılması için, TS EN 1097-6 (Madde 8) standardına esas, alınması gerekli minimum malzeme miktarları Çizelge 3.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 0.063-4 mm tane büyüklüğünde agrega miktarı

En Büyük Agrega Dane Boyutu Büyüklüğü, mm	Alınması Gereken Minimum Miktar, g
4	300



Şekil 3.5 Kaba ve ince agregada su emme deney aşamaları-1

Su emme deneyi için 4 mm elekten geçen 0.063 mm elek üstünde kalan numune malzeme hazırlanmıştır. Numune tepsi içerisinde tamamı suyun içinde olacak şekilde 24 saat bekletilmiştir. Suyu süzölmüş agrega tanelerinin yüzeyi saç kurutma makinasıyla soğuk ayarında dikkatlice kurutulmuştur. Bütün su filmleri uzaklaştırılınca, doymun ve yüzeyi kuru traverten atığı numune tartılmıştır. Malzeme 24 saat boyunca etüvde (105°C) sabit kütleye erişinceye kadar kurutulmuştur. Kaba ve ince agregada su emme deney aşamaları Şekil 3.5 ve 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Kaba ve ince agregada su emme deney aşamaları-2

### 3.6. Likit Limit ve Plastik Limit Deneyi

Likit Limit deneyi, numunenin plastik durumdan likit (sıvı) duruma geçtiği andaki su muhtevası değerinin bulunması amacıyla yapılmaktadır.

Plastik limit deneyi ise numunenin plastik kıvamda bulunduğu en düşük su muhtevasının tespiti için yapılmaktadır. Traverten atıklarına plastik limit deneyi uygulanmıştır. Deneyde TS 1900-1, AASHTO T 89 ve AASHTO T 90 standardı esas alınmıştır.

Deneyde kullanılan cihaz ve malzemeler;

- Elek 0.425 mm çaplı( No.40)
- Cam plaka
- 3 mm çapında metal çubuk
- Porselen pota
- Malzeme kapları
- Terazî
- Etüv

Traverten atığı numunesinden; 40 numaralı elekten geçen 20 g alınmıştır. Numune, homojen bir duruma gelip, küçük bir top biçiminde plâstik özellik gösterene kadar, cam plâka üzerinde, damıtık su ile iyice karıştırılıp yoğrulmaya çalışılmıştır. Fakat malzeme plastik özellik gösterip homojen bir hamur kıvamına geçmemiştir.

Malzemenin plastik limiti tespit edilemediğinden, likit limit deneyi yapılmamıştır. Şekil 3.7'de likit limit deney tertibatından ve plastik limit deney aşamalarından fotoğraflar görülmektedir.





Şekil 3.7 Likit limit ve plastik limit deney aşamaları

### 3.7. NaOH ile Yapılan Organik Madde Deneyi

Deney, agrega içerisinde yer alan bitki artıkları ve humus gibi organik maddelerin tespit edilebilmesi için yapılmaktadır. Deneyde TS EN 1744-1 (Madde 15.1) standardı esas alınmıştır.

Deneyde kullanılan cihaz ve malzemeler;

- Deney elekleri; 4 mm göz açıklıklı
- Silindirik cam şişe
- Sodyum hidroksit çözeltisi( %3'lük NaOH çözeltisi)

Sodyum hidroksit çözeltisi 970 g su ve 30 g sodyum hidroksit kullanılarak hazırlanmıştır. Deney için 4 mm elekten geçen malzeme kullanılmıştır.

Cam şişeye, 180 cm<sup>3</sup> çizgisine kadar test edilecek numune konulmuştur. %3'lük NaOH çözeltisi 200 cm<sup>3</sup> çizgisine kadar doldurulmuştur. Hava kabarcıklarının çıkması için şişe bir dakika boyunca kuvvetlice çalkalanmıştır. Daha sonra kapalı ve sarsıntısız bir ortamda kapağı sıkıca kapatılan şişe 24 saat bekleme bırakılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 NaOH ile yapılan organik madde deneyi

24 saat sonunda, çözeltinin rengi standart renk çözeltisi (ASTM C 40) ile mukayese edilmiştir.

### 3.8. Metilen Mavisi Deneyi

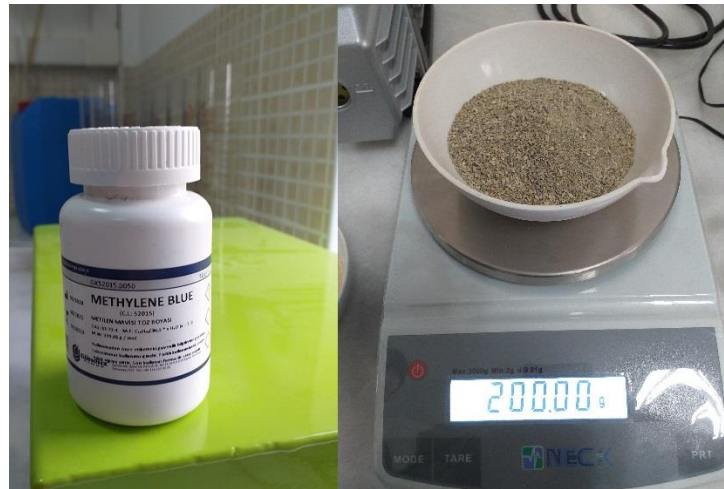
Deney, ince agreganın (0-2 mm) içerisindeki kil ve silt gibi zararlı malzemelerin değerinin tespit edilebilmesi için yapılmaktadır. Deneyde TS EN 933-9 standardı esas alınmıştır.

Deneyde kullanılan cihaz ve malzemeler;

- Büret
- Süzgeç kâğıdı
- Cam çubuk
- Pervaneli karıştırıcı (400-600 dev/dak hızında çalışan)
- Terazi
- Süreölçer
- Elek; 2 mm göz açıklığında

Deney alttemel ve temel malzeme için ortak numune kullanılarak yapılmıştır. 10 g/L'lik metilen mavisi çözeltisi TS EN 933-9 standardı esas alınarak hazırlanmıştır. 0-2 mm elek altında kalan 200 g kuru traverten atığı numunesi hazırlanmıştır. Bir behere konulan 500 ml damıtık su üzerine, 200 g traverten numunesi aktarılmıştır. Ayarlı karıştırıcıda 5 dakika süreyle 600 dev/dk hızda karıştırılmıştır.

TS EN 933-9:2014 standardı esas alınarak hazırlanmış olan metilen mavisi çözeltisinden 5 ml büret ile alınarak numune su karışımına eklenmiştir. Bir dakika süre ile 400 dv/dk hızda karıştırmaya devam edilmiştir. Bir dakika sonunda karışımdan cam çubuk ile bir damla alınarak süzgeç kâğıdına damlatılmıştır. Hare oluşmadığı görüldüğünden metilen mavisi çözeltisinden 5 ml daha (toplam 10 ml) karışıma ilave edilerek bir dakika süre ile 400 dv/dk hızda karıştırmaya devam edilmiştir. Tekrar süzgeç kâğıdına bir damla damlatılmıştır. Hare oluşmamıştır. Aynı şekilde 5 ml daha (toplam 15 ml) eklenerek yine bir dakika 400 dv/dk hızda karıştırmaya devam edilmiştir. Karışımdan bir damla süzgeç kâğıdına damlatılmış harenin tam olarak oluşmadığı görülmüştür. Bir kez daha metilen mavisi çözeltisinden 5 ml (toplam 20 ml) ekleme yapılarak aynı şekilde bir dakika 400 dv/dk hızda karıştırmaya devam edilmiştir. Bu aşamada harenin oluştuğu gözlemlenmiştir. Teyit amaçlı birer dakika sürelerle karışım 4 kere 400 dv/dk hızda karıştırılmış ve her seferinde süzgeç kâğıdına birer damla damlatılmış ve harenin bozulmadığı gözlemlenmiştir. Bu aşamada deney sonlandırılmıştır. Deney aşamalarına ait fotoğraflar Şekil 3.9 ve 3.10'da yer almaktadır.



Şekil 3.9 Metilen mavisi deney aşamaları-1



Şekil 3.10 Metilen mavisi deney aşamaları-2

### 3.9. Kil Topağı ve Dağılabilen Tane Oranı Deneyi

Deney, kaba ve ince agregada kil topağı ve dağılabilen tane oranını tespit etmek için yapılmaktadır. Deneyde ASTM C 142 standardı esas alınmıştır.

Deneyde kullanılan cihaz ve malzemeler;

- Deney elekleri; 37.5; 19; 9.5; 4.75; 1.18 mm ve 850 µm göz açıklıklı
- Etüv
- Tepsi

Deney alttemel ve temel malzeme için ortak numune kullanılarak yapılmıştır. Çizelge 3.7’de her bir elek aralığı için alınması gereken numune miktarları ve eleme yapılacak elek boyutları gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 Alınması gerekli numune miktarı

Numune Tane Aralığı	Eleme Yapılacak Elek Boyutu	Alınması Gereken Minimum Ağırlık, g
19 -37.5mm	4.75 mm	3000
9.5 -19 mm	4.75 mm	2000
4.75-9.5 mm	2.36 mm	1000
1.18-4.75 mm	850 µm	50

Hazırlanan numune malzeme saf su içerisinde tepsiye yayılarak 24 saat bekletilmiştir. Numune malzeme her bir elek aralığı ayrı ayrı kaplarda olmak üzere elle ufalanarak kil topraklarından arındırılmıştır ve parmakla ince tanelere ayrılabilenler, ayrılmıştır. Kil toprakları ve ayrılabilen taneler ayrıldıktan sonra numune malzeme, tane aralığına karşılık gelen eleklerde ıslak eleme işlemine tabii tutulmuştur. Eleme sonrası kalan numune etüvde (105 °C) sabit ağırlığa erişinceye kadar kurutulmuştur. Sonrasında etüv kurusu malzeme tartılarak kil topağı ve dağılabilen tane oranı tespit edilmiştir.

### **3.10. Modifiye Proktor ve CBR Deneyleri**

KTŞ 2013 Alttemel ve temel malzeme kullanım kriterlerinde CBR değerinin tespit koşulu yer almaktadır. CBR deneyinin ise modifiye proktor deneyinde bulunan optimum su muhtevasında yapılması gerekmektedir.

#### **3.10.1. Modifiye proktor deneyi**

Deney, alttemel ve temel tabakasında kullanılacak malzemenin modifiye proktor metodu ile sıkıştırılmış, en büyük kuru birim hacim ağırlığını veren su muhtevası değerinin bulunması için yapılmaktadır. Deneyde AASHTO T 180, TS 1900-1 standardı esas alınmıştır.

Deneyde kullanılan cihaz ve malzemeler;

- Kalıp (Molt); iç çapı:10.16 cm ve yüksekliği:11.64 cm
- Mekanik tokmak
- Deney elekleri; 19; 9.5 ve 4.75 mm göz açıklıklı
- Terazî
- Etüv
- Çelik cetvel
- Tepsi
- Numune kapları

Deney için Çizelge 3.8’de verilen kullanım şartları esas alınmıştır.

Çizelge 3.8 Modifiye proktor deneyi malzeme kullanım şartları

Kullanım Şartı	%20 ve daha az malz. 4.75 mm'lik elek üzerinde kalıyorsa
Kullanılan Malzeme	4.75 mm'lik elekten geçen
Kalıp Boyutları	Çap: 101.6 mm, Boy: 116.4 mm, V: 944 cm <sup>3</sup>
Tabaka Sayısı	5
Her Tabak Vuruş Sayısı	25

Malzemenin su muhtevası sırasıyla; %5, %6, %8, %10 ve %12 yapılarak, AASHTO T 180, TS 1900-1 standardına göre sıkıştırma yapılmıştır.

Numune her seferinde; beş kademede, her kademede 25 darbe olacak şekilde mekanik tokmak altında sıkıştırılmıştır. Numuneden her sıkıştırma sonunda, su muhtevası tayini için bir miktar alınmış ve tartılarak kaba konmuştur. Elde edilen sonuçlar grafik haline aktarılmıştır. Kuru birim hacim ağırlık - su muhtevası eğrisinde, en büyük kuru birim hacim ağırlığına karşılık olan su muhtevası, optimum su muhtevası olarak belirlenmiştir.

Şekil 3.11 ve 3.12'de modifiye proktor deney aşamalarından fotoğraflar görülmektedir.



Şekil 3.11 Modifiye proktor deney aşamaları-1



Şekil 3.12 Modifiye proktor deney aşamaları-2

### 3.10.2. Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyi

Kaliforniya taşıma oranı (CBR), bir toprağın dikkatle kontrol edilen yoğunluk ve rutubet şartları altında daneler arası kayma direncinin bir ölçüsüdür (Demirel ve Orhan, 1994). Deney, optimum su içeriğine sahip numunenin pistonla belli bir noktaya kadar batması için gereken basıncın bulunması için yapılmaktadır. Deneyde AASHTO T 193, 1900-2 standardı esas alınmıştır.

Deneyde kullanılan cihaz ve malzemeler;

- Otomatik Dijital CBR Deney Cihazı
- Aralık diski ( $15.08 \pm 0.079$  cm çapında ve  $6.14 \pm 0.013$  cm yüksekliğinde bir silindir)
- Kalıplar (iç çapı =  $15.24 \pm 0.013$  cm ve yüksekliği =  $17.78 \pm 0.013$  cm olan silindir şeklindeki kalıbın alt tabanına yerleştirilen bir taban plakası ve üst kısmına yerleştirilen  $5.08$  cm yüksekliğinde ilave bir yaka)
- Kabarma ölçen cihazlar, göstergeler
- İlave ağırlık (Halka şeklinde)
- Terazî
- Etüv
- Islatma tankı, leğen, kaşık, mala, spatula ve filtre kâğıdı

Malzemenin alttemel ve temel tabakasında kullanılabilirliğini değerlendirmek açısından KTŞ 2013’de belirtilen yaş CBR deney uygulaması yapılmıştır. Deney için alınan 5 850 g malzemeye elek analizi yapılarak 19 mm, 9.5 mm ve 4.75 mm elek üzerinde kalan malzeme yüzdeleri belirlenmiştir (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9 CBR Deney numunesi elek analizi tespiti

Elek Çapı	Elek Üstü Kalan Miktar, g	Elek Üstü Kalan Yüzde, %
19 mm	235	4.02
9.5 mm	343	5.86
4.75 mm	568	9.71
Tava	4 704	80.41

Deney için Çizelge 3.10’da verilen kullanım şartları esas alınmıştır.

Çizelge 3.10 CBR Deneyi malzeme kullanım şartları

Kullanım Şartı	%20 ve daha az malz. 4.75 mm’lik elek üzerinde kalıyorsa
Kullanılan Malzeme	4.75 mm’lik elekten geçen
Kalıp Boyutları	Çap: 15.24 cm, Boy: 17.78 cm, V numune: 2 124 cm <sup>3</sup>
Tabaka Sayısı	5
Her Tabak Vuruş Sayısı	25

Daha önce modifiye proktor deneyinden tespit edilmiş olan optimum su muhtevasına göre numune hazırlanmıştır. Numune iyice karıştırılarak suyun homojen bir şekilde dağılması sağlanmıştır. AASHTO T 193, 1900-2 standardına göre yapılan deney aşamaları Şekil 3.13 ve 3.14’de görülmektedir.





Şekil 3.13 Taban plakası takılı CBR deney kalıbı ve yükseklik ölçüsü



Şekil 3.14 CBR Deney aşamaları

Bu deneyde kullanılan molt'un alt tabanında su geçişine olanak sağlayan delikler vardır. Malzemenin, yüksek enerjili sıkıştırma metoduna göre 15,24 cm'lik (6'') CBR kalıbında 5 aşamada sıkışması tamamlanmıştır. Sıkıştırma işlemi sırasında, ilave yakası takılmış olan kalıp, taban plakası üzerine bağlanarak aralık diski yerleştirilmiştir. Aralık diski üzerine kalıp çapında kesilmiş olan filtre kâğıdı konulmuştur. Sıkıştırma işlemi bittikten sonra ilave yaka çıkarılıp ve kalıbın üst seviyesi çelik cetvel ile tesviye edilmiştir. Numune yüzeyinde oluşan boşluklar, daha ince malzeme ile doldurulmuştur. Delikli taban plakası ve aralık diski çıkarıldıktan sonra kalıp ve sıkıştırılmış numune tartılarak ağırlığı kaydedilmiştir. İçinde sıkıştırılmış numune olan kalıp ters çevrilerek üstüne kalıp çapında kesilmiş olan filtre kâğıdı konan delikli taban plakası üzerine yerleştirilip sabitlenmiştir.

Molt bu aşamadan sonra üzerine 4904 g ağırlık diski yerleştirilerek dört gün boyunca su içerisinde bekletilmiştir. 24 Saat'te bir şişme miktarı kontrol edilmiştir.

Suda bekletme süresinin sonunda numune 15 dakika eğik vaziyette suyunu akıtması için bırakılmıştır. Ağırlık ve delikli plaka çıkarılıp, numune ve kalıp ağırlığı tespit edilmiştir. Kalıptaki sıkıştırılmış numune üzerine suda bekleme esnasında konulan 4904 g ağırlık diski takılarak, CBR cihazına yerleştirilmiştir.

Cihaz çalıştırılıp AASHTO T 193, 1900-2 standardına göre penetrasyon batmalarına karşılık gelen yükler tespit edilerek tabloya işlenmiştir. Deney sonunda malzemenin içerisindeki su muhtevasını tespit etmek için üst ve alt kısımdan numuneler alınarak etüvde kurumaya bırakılmıştır.



#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Materyal ve yöntem bölümünde belirtilen deneyler yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

##### 4.1. Elek Analizi Deneyi

Deney alttemel ve temel malzeme için ayrı ayrı yapılmıştır. Alttemel deney numunesine yapılan elek analizi sonucu bulunan değerler Çizelge 4.1'e işlenmiştir.

Çizelge 4.1 Tane çapı dağılımı deney formu, alttemel

Ait olduğu proje	Yüksek Lisans Tezi	Deney tarihi	30.11.2018	
Numune tipi	Traverten Atığı Alttemel malzeme	Alınan kuru numune kütlesi, g	10050	
Elek çapı, mm	Elekte kalan numune, g	Kalan, %	Toplam kalan, %	Toplam geçen, %
50	0	0	0	100
37.5	965	9.60	9.60	90.40
25	1285	12.79	22.39	77.61
19	1104	10.99	33.37	66.63
9.5	1890	18.81	52.18	47.82
4.75	1310	13.03	65.21	34.79
2.00	904	9	74.21	25.79
0.425	1067	10.62	84.83	15.17
0.075	836	8.32	93.14	6.86
Tepsi	689	6.86	100	0

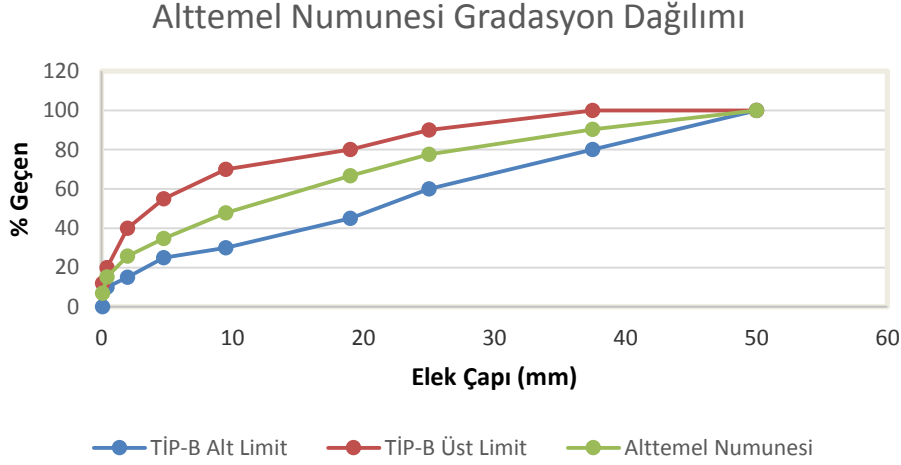
Alttemel malzemenin gradasyon limitleri; KTŞ 2013'de yer alan, kum-çakıl veya taş ocaklarında kırılarak hazırlanması durumunda malzemenin gradasyonu TİP-B gradasyon limitlerine uygun olacaktır şartına göre incelenmiştir.

Alttemel numunesine yapılan elek analizi sonucu bulunan toplam geçen yüzdeleri KTŞ 2013’de gösterilen şartname limitleriyle karşılaştırılmak üzere Çizelge 4.2’ye işlenmiştir.

Çizelge 4.2 Traverten atığı alttemel malzeme için elek analizi sonuçları

Elek Açıklığı		%Geçen		Sonuç
mm	in	TİP B	Numune	
50	2	100	100	Uygundur
37.5	1 1/2	80-100	90.40	
25	1	60-90	77.61	
19	3/4	45-80	66.63	
9.5	3/8	30-70	47.82	
4.75	No.4	25-55	34.79	
2.00	No.10	15-40	25.79	
0.425	No.40	10-20	15.17	
0.075	No.200	0-12	6.86	

Malzemenin 0.075 mm eleği geçen kısmı %6.86, malzemenin 0.425 mm eleği geçen kısmı ise %15.17 olarak bulunmuştur, malzemenin 0.425 mm eleği geçen kısmının 2/3’ü %10.11 olarak hesaplanmıştır. Malzemenin 0.075 mm eleği geçen kısmı, 0.425 mm eleği geçen kısmının 2/3’ünden fazla olmayacaktır şartı sağlanmıştır. Alttemel malzeme için yapılan elek analizi sonucu gradasyon dağılımı grafiği Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Alttemel numunesi gradasyon dağılımı

Şekil 4.1’de yer alan grafikten anlaşılacağı üzere traverten atığı alttemel numune malzeme, TİP-B alttemel malzeme alt ve üst sınır değerleri içerisinde kalmaktadır.

Temel deney numunesine yapılan elek analizi sonucu bulunan değerler ise Çizelge 4.3’e işlenmiştir.

Çizelge 4.3 Tane çapı dağılımı deney formu, temel

Ait olduğu proje	Yüksek Lisans Tezi	Deney tarihi	03.12.2018	
Numune tipi	Traverten Atığı Temel malzeme	Alınan kuru numune kütlesi, g	8251	
Elek çapı, mm	Elekte kalan numune, g	Kalan, %	Toplam kalan, %	Toplam geçen, %
37.5	0	0	0	100
25	857	10.39	10.39	89.61
19	1114	13.50	23.89	76.11
9.5	1093	13.25	37.13	62.87
4.75	1623	19.67	56.81	43.19
2.00	1210	14.66	71.47	28.53
0.425	855	10.36	81.83	18.17
0.075	985	11.94	93.77	6.23
Tepsi	514	6.23	100	0

Temel numunesine yapılan elek analizi sonucu bulunan toplam geçen yüzdeleri KTŞ 2013’de gösterilen şartname limitleriyle karşılaştırılmak üzere Çizelge 4.4’e işlenmiştir.

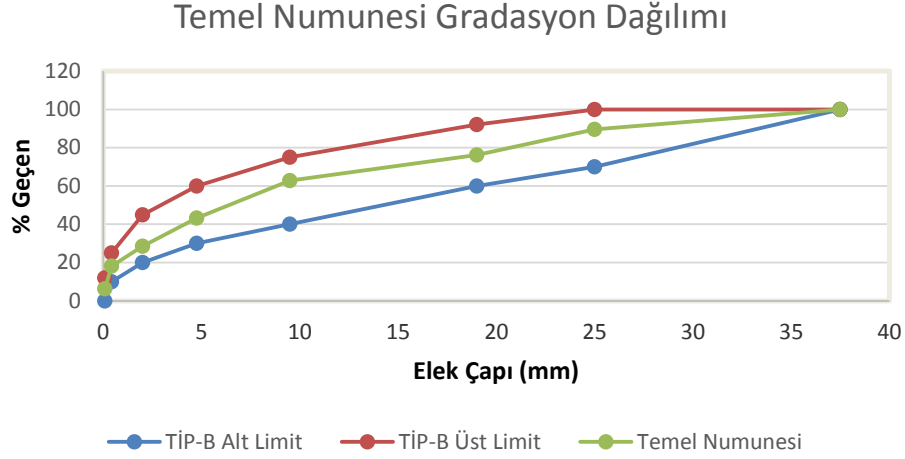
Çizelge 4.4 Traverten atığı temel malzeme için elek analizi sonuçları

Elek Açıklığı		%Geçen		Sonuç
mm	in	TİP B	Deney Sonucu	
37.5	1 1/2	100	100	Uygundur
25	1	70-100	89.61	
19	3/4	60-92	76.11	
9.5	3/8	40-75	62.87	
4.75	No.4	30-60	43.19	
2.00	No.10	20-45	28.53	
0.425	No.40	10-25	18.17	
0.075	No.200	0-12	6.23	

Temel numunesinin gradasyon limitleri KTŞ 2013’de yer alan; asfalt betonu ile kaplanacak yollarda Granüler Temel malzemesi gradasyonu A ve B tiplerinden birine uygun olacaktır şartına göre incelenmiştir.

Malzemenin 0.075 mm eleği geçen kısmı %6.23, malzemenin 0.425 mm eleği geçen kısmı ise %18.17 olarak bulunmuş ve malzemenin 0.425 mm eleği geçen kısmının 2/3’ü: %12.11 olarak hesaplanmıştır. Malzemenin 0.075 mm eleği geçen kısmı, 0.425 mm eleği geçen kısmının 2/3’ünden fazla olmayacaktır şartı sağlanmıştır.

Temel malzeme için yapılan elek analizi sonucu gradasyon dağılımı grafiği Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Temel numunesi gradasyon dağılımı

Şekil 4.2’de yer alan grafikten anlaşılacağı üzere traverten atığı temel numune malzeme, Tip-B temel malzeme alt ve üst sınır değerleri içerisinde kalmaktadır.

Traverten atığı numunenin elek analizi sonuçları incelendiğinde; malzemenin KTŞ 2013’de yer alan, alttemel ve temel malzeme olarak kullanılabilmesi için gerekli olan şartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.2. MgSO<sub>4</sub> ile Hava Tesirlerine Dayanıklılık Deneyi

Deney alttemel ve temel malzeme için ortak numune kullanılarak yapılmıştır. Deney sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.5’e işlenmiştir.

Çizelge 4.5 MgSO<sub>4</sub> ile hava tesirlerine dayanıklılık deney verileri

Numune Nu.	İlk Ağırlık, g	Son Ağırlık, g
1	420	367
2	430	374

MgSO<sub>4</sub> ile kayıp yüzdesi formülü Eşitlik 7.1 ve 7.2’de verilmiştir.

$$\% MS = \text{MgSO}_4 \text{ ile Kayıp Yüzdesi, \%} \quad (7.1)$$

$$\% MS = \frac{M_{ilk} - M_{son}}{M_{ilk}} * 100 \quad (7.2)$$

Birinci numune için MgSO4 ile kayıp yüzdesi Eşitlik 7.3 ve 7.4'de hesaplanmıştır.

$$\% MS = \frac{420-367}{420} * 100 \quad (7.3)$$

$$\% MS1 = \%12.61 \quad (7.4)$$

İkinci numune için MgSO4 ile kayıp yüzdesi Eşitlik 7.5 ve 7.6'da hesaplanmıştır.

$$\% MS = \frac{430-374}{430} * 100 \quad (7.5)$$

$$\% MS2 = \%13.02 \quad (7.6)$$

Elde edilen her iki sonucun ortalama değeri bulunarak, en yakın tam sayıya yuvarlatılıp Eşitlik 7.7, 7.8, 7.9 ve 7.10'da hesaplanmıştır.

$$\% MS_{ort} = \frac{\%MS1 + \%MS2}{2} \quad (7.7)$$

$$\% MS_{ort} = \frac{12.61 + 13.02}{2} \quad (7.8)$$

$$\% MS_{ort} = 12.81 \quad (7.9)$$

$$\% MS_{ort} = 12.81 \approx 13 \quad (7.10)$$

Çizelge 4.6'da şartname limitlerine göre malzemenin uygunluğu değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.6 MgSO4 ile hava tesirlerine dayanıklılık deney sonucu

Numune Malzeme	KTŞ 2013 Limit	Deney Sonucu, %MS	Sonuç
Alttemel	$\leq 25$	13	Uygundur
Temel	$\leq 20$	13	Uygundur

Traverten atığı numunenin MgSO4 ile yapılan hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi sonuçları incelendiğinde; malzemenin KTŞ 2013'de yer alan, alttemel ve temel



malzeme olarak kullanılabilmesi için gerekli olan şartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.3. Los Angeles Aşınma Deneyi

Alttemel ve temel malzeme için ortak numune kullanılarak, TS EN 1097-2 standardına göre yapılan Los Angeles aşınma deneyi sonucunda elde edilen veriler Çizelge 4.7'ye işlenmiştir.

Çizelge 4.7 Los Angeles aşınma deney sonuçları

Yapılan İşlem	Malzeme Ağırlığı, g
İlk Malzeme Miktarı, M1	5000
500 Devir Sonunda Malzeme Miktarı	4966
Yıkanmış 1.6 mm Elek Üstü Malzeme Miktarı	3636
Etüv Kuru Malzeme Miktarı, M2	3591

Los Angeles aşınma yüzdesi formülü Eşitlik 7.11 ve 7.12'de verilmiştir.

$$LA = \text{Los Angeles Katsayısı, \%} \quad (7.11)$$

$$LA = \frac{M1-M2}{M1} * 100 \quad (7.12)$$

Alttemel ve temel numunesi için Los Angeles Aşınma yüzdesi Eşitlik 7.13, 7.14 ve 7.15'de hesaplanmıştır. Deney sonucu bulunan Los Angeles katsayısı en yakın tamsayıya yuvarlatılmıştır.

$$LA = \frac{5000-3591}{5000} * 100 \quad (7.13)$$

$$LA = \%28.18 \quad (7.14)$$

$$LA = \%28.18 \approx \%28 \quad (7.15)$$

Deney sonucu hesaplanan Los Angeles katsayısı değeri Çizelge 4.8’de KTŞ 2013’de yer alan kriterlerle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.8 Los Angeles aşınma deney sonucu

Numune Malzeme	Şartname Limit	Deney Sonucu, LA	Sonuç
Alttemel	$\leq 45$ (LA <sub>45</sub> )	28	Uygundur
Temel	$\leq 35$ (LA <sub>35</sub> )	28	Uygundur

Traverten atığı numunenin Los Angeles aşınma deneyi sonuçları incelendiğinde; malzemenin KTŞ 2013’de yer alan, alttemel ve temel malzeme olarak kullanılabilmesi için gerekli olan şartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.4. Yassılık İndeksi Deneyi

Çizelge 4.9 Yassılık indeksi deneyi malzeme miktarı

Elek Aralıkları, mm	Alınan Numune Miktarı, g	Artırılmış Numune Miktarı, g	Elek Aralığında Kalan Numune Yüzdesi, %
37.5 – 28	15033	15033	63.3
28 – 20	5045	20078	21.2
20 – 14	2093	22171	8.8
14 – 10	1014	23185	4.3
10 – 6.3	558	23743	2.4

Alttemel ve temel malzeme için ortak numune ile yapılan yassılık indeksi deneyi için elek aralıklarına uygun olarak hazırlanan numune miktarları Çizelge 4.9’da gösterilmiştir.

Yassılık indeksi değeri tespitinde, BS 812 standardına esas olarak toplam numune kütlelerinin %5’i ve altında kalan miktarlar değerlendirme dışı kalacağından, deney yapılacak numune miktarı revize edilerek Çizelge 4.10’da gösterilmiştir. Deney için toplam 22171 g malzeme kullanılmıştır.

Çizelge 4.10 Yassılık indeksi deneyi revize malzeme miktarı

Elek Açıklıkları, mm	Alınan Numune Miktarı, g	Artırılmış Numune Miktarı, g	Elek Aralığında Kalan Numune Yüzdesi, %
37.5 – 28	15033	15033	67.8
28 – 20	5045	20078	22.8
20 – 14	2093	22171	9.4

Hazırlanan numune malzeme karşılığındaki yassılık elek şablonundan geçirilmiş ve geçen miktarlar Çizelge 4.11'e işlenmiştir.

Çizelge 4.11 Yassılık indeksi deneyi için alınan malzeme miktarı

Alınan Numune Miktarı, g	Yassılık Elek Genişliği, mm	Yassılık Eleğinden Geçen Miktar, g	Yassılık Eleğinden Geçen Artırılmış Mikt., g
15033	19.7 ± 0.3	1768	1768
5045	14.4 ± 0.15	432	2200
2093	10.2 ± 0.15	213	2413

Yassılık elek şablonundan geçen malzeme miktarı, toplam miktara oranlanarak yassılık indeksi değeri bulunmuştur. Yassılık indeksi formülü Eşitlik 7.16 ve 7.17'de verilmektedir.

$$Yİ = \text{Yassılık İndeksi} \quad (7.16)$$

$$Yİ = \frac{M3}{M2} * 100 \quad (7.17)$$

M2 = Artırılmış Toplam Numune Miktarı (g)

M3 = Yassılık Eleğinden Geçen Artırılmış Miktar (g)

Alttemel ve temel numunesi için Yassılık İndeksi değeri Eşitlik 7.18 ve 7.19'da hesaplanmıştır.

$$Yİ = \frac{2413}{22171} * 100 \quad (7.18)$$

$$Yİ = 10.88 \quad (7.19)$$

Deney sonucunda bulunan yassılık indeksi değeri Çizelge 4.12’de KTŞ 2013’de yer alan kriterlerle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.12 Yassılık indeksi deney sonucu

Numune Malzeme	Şartname Limit	Deney Sonucu, Yİ	Sonuç
Alttemel	$\leq 35$	10.88	Uygundur
Temel	$\leq 30$	10.88	Uygundur

Traverten atığı numunenin yassılık indeksi deney sonuçları incelendiğinde; malzemenin KTŞ 2013’de yer alan, alttemel ve temel malzeme olarak kullanılabilmesi için gerekli olan şartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.5. Kaba ve İnce Agregada Su Emme Deneyi

Alttemel ve temel malzeme için ortak numune kullanılarak TS EN 1097-6 (Madde 8) standardı esas alınarak yapılan su emme deneyi, farklı elek aralıklarına göre ayrılmış olan numune malzemeye ayrı ayrı yapılmıştır. Sonuçları da aynı şekilde ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Su emme miktarı Eşitlik 7.20’de gösterilen formüle göre her bir elek aralığı için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$WA_{24} = \frac{M1-M2}{M2} * 100 \quad (7.20)$$

$WA_{24}$  = 24 saat Suyu Daldırmadan Sonraki Su Emme, %

M1 = Agregada Doygun Kuru Yüzey (DKY) Ağırlığı

M2 = Etüvde Kurutulmuş Agregada Ağırlığı

##### 4.5.1. 31.5-63 mm tane büyüklüğünde agregalarda su emme

31.5-63 mm arasında tane büyüklüğüne sahip etüv kuru malzeme tartılarak son ağırlığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.13’e işlenmiştir.

Çizelge 4.13 31.5-45 mm tane büyüklüğünde agregada su emme verileri

Elek Açıklıkları, mm	Suda Beklemiş Numune Ağırlığı, M1 (g)	Etüv Kuru Numune Ağırlığı, M2 (g)
31.5 – 45	7543	7368

31.5-63 mm arasında tane büyüklüğüne sahip agregalar için su emme değeri Eşitlik 7.21 ve 7.22’de hesaplanmıştır.

$$WA_{(31.5\text{mm} - 45\text{mm})} = \frac{7543-7368}{7368} * 100 \quad (7.21)$$

$$WA_{(31.5\text{mm} - 45\text{mm})} = \%2.38 \quad (7.22)$$

#### 4.5.2. 4-31.5 mm tane büyüklüğünde agregalarda su emme

4-31.5 mm arasında tane büyüklüğüne sahip etüv kuru malzeme tartılarak son ağırlığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.14’e işlenmiştir.

Çizelge 4.14 4-16 mm tane büyüklüğünde agregada su emme verileri

Elek Açıklıkları, mm	Suda Beklemiş Numune Ağırlığı, g	Etüv Kuru Numune Ağırlığı, g
4 – 16	2622	2595

4-31.5 mm arasında tane büyüklüğüne sahip agregalar için su emme değeri Eşitlik 7.23 ve 7.24’de hesaplanmıştır.

$$WA_{(4\text{mm} - 16\text{mm})} = \frac{2622-2595}{2595} * 100 \quad (7.23)$$

$$WA_{(4\text{mm} - 16\text{mm})} = \%1.04 \quad (7.24)$$

#### 4.5.3. 0.063-4 mm tane büyüklüğünde agregalarda su emme

0.063-4 mm arasında tane büyüklüğüne sahip etüv kuru malzeme tartılarak son ağırlığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.15’e işlenmiştir.

Çizelge 4.15 0.063- 4 mm tane büyüklüğünde agregada su emme verileri

Elek Açıklıkları, mm	Suda Beklemiş Numune Miktarı, g	Etüv Kuru Numune Miktarı, g
0.063 – 4	1244	1234

0.063-4 mm arasında tane büyüklüğüne sahip agregalar için su emme değeri Eşitlik 7.25 ve 7.26'da hesaplanmıştır.

$$WA_{(0.063\text{mm} - 4\text{mm})} = \frac{1244-1234}{1234} * 100 \quad (7.25)$$

$$WA_{(0.063\text{mm} - 4\text{mm})} = \%0.81 \quad (7.26)$$

Deney sonucunda bulunan su emme değerleri Çizelge 4.16 ve 4.17'de KTŞ 2013'de yer alan kriterlerle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.16 Kaba ve ince agrega su emme deney sonucu (alttemel)

Numune Aralığı	Şartname Limit, Alttemel	Su Emme, % WA	Sonuç
31.5 - 63 mm	$\leq 3.5$	2.38	Uygundur
4 - 31.5 mm		1.04	
0.063 - 4 mm		0.81	

Çizelge 4.17 Kaba ve ince agrega su emme deney sonucu (temel)

Numune Aralığı	Şartname Limit, Temel	Su Emme, % WA	Sonuç
31.5 - 63 mm	$\leq 3$	2.38	Uygundur
4 - 31.5 mm		1.04	
0.063 - 4 mm		0.81	

Traverten atığı numunenin su emme deney sonuçları incelendiğinde; malzemenin KTŞ 2013'de yer alan, alttemel ve temel malzeme olarak kullanılabilmesi için gerekli olan şartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.6. Likit Limit ve Plastik Limit Deneyi

Deney alttemel ve temel malzeme için ortak numune kullanılarak yapılmıştır. Plastik limit deney sonucunda traverten atığı malzemenin plastik özellik göstermediği tespit edilmiştir. Bu sebeple malzemeye likit limit deneyi uygulanmamıştır. Likit limit ve plastisite indeksi değeri non-plastik olarak alınmıştır. Likit limit deney sonuçları Çizelge 4.18’de, plastisite indeksi deney sonuçları ise Çizelge 4.19’da değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.18 Likit limit deney sonucu

Numune Malzeme	Şartname Limit	Deney Sonucu, W <sub>P</sub>	Sonuç
Alttemel	$\leq 25$	NP	Uygundur
Temel	Non-plastik, NP	NP	Uygundur

Çizelge 4.19 Plastisite indeksi deney sonucu

Numune Malzeme	Şartname Limit	Deney Sonucu, I <sub>P</sub>	Sonuç
Alttemel	$\leq 6$	NP	Uygundur
Temel	Non-plastik, NP	NP	Uygundur

Traverten atığı numunenin likit limit ve plastisite indeksi deney sonuçları incelendiğinde; malzemenin KTŞ 2013’de yer alan, alttemel ve temel malzeme olarak kullanılabilmesi için gerekli olan şartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.7. NaOH ile Yapılan Organik Madde Deneyi

Deney alttemel ve temel malzeme için ortak numune kullanılarak yapılmıştır. NaOH çözeltisi kullanılarak yapılan deney sonucunda eriyiğin rengi Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.3 NaOH ile yapılan organik madde deney sonucu

Eriyiğin rengi, renksiz veya çok açık sarı olarak görülmüştür. Çizelge 4.20’de görülen agrega organik madde referans tablosuna göre değerlendirme yapılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucu Çizelge 4.21’de açıklanmıştır.

Çizelge 4.20 Agrega organik madde referans tablosu

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

Çizelge 4.21 NaOH ile yapılan organik madde deney sonucu

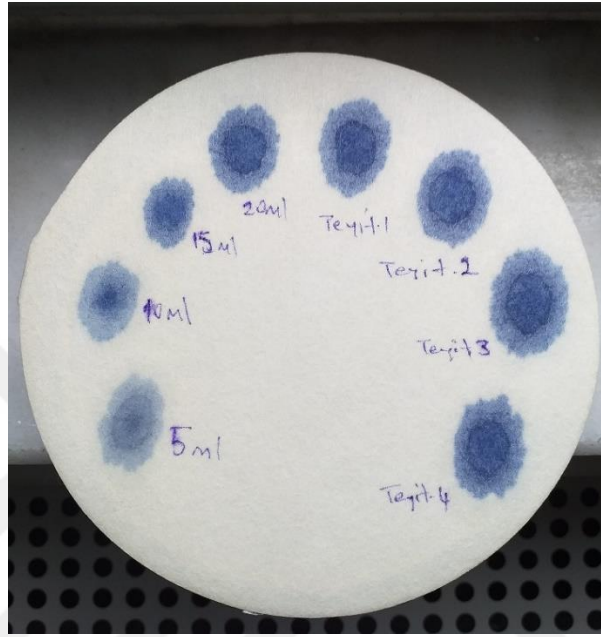
Numune Malzeme	Karışım Rengi	Organik Madde	Sonuç
Temel	Renksiz	Hiç yok	Uygundur
Alttemel	Renksiz	Hiç yok	Uygundur

Traverten atığı numunenin NaOH ile yapılan organik madde deney sonuçları incelendiğinde; malzemenin KTŞ 2013’de yer alan, alttemel ve temel malzeme olarak kullanılabilmesi için gerekli olan şartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.



#### 4.8. Metilen Mavisi Deneyi

Deney alttemel ve temel malzeme için ortak numune kullanılarak yapılmıştır. TS EN 933-9 standardı esas alınarak yapılan metilen mavisi deney sonucunda, karışıma toplam 20 ml boya çözeltisi eklendikten sonra harenin oluştuğu görülmüştür (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Metilen mavisi deney sonucu

Metilen mavisi değeri formülü Eşitlik 7.27’de gösterilmiştir.

$$MB = \frac{V_1}{M_1} * 10 \quad (7.27)$$

MB = Metilen Mavisi Değeri (Methylen Blue)

$V_{(1)}$  = İlave Edilen Boya Çözeltisinin Hacmi, ml

$$V_{(1)} = 20 \text{ ml}$$

$M_{(1)}$  = Deney Numunesi Kütlesi, g

$$M_{(1)} = 200 \text{ g}$$

Bulunan değerlere göre metilen mavisi değeri Eşitlik 7.28 ve 7.29’da hesaplanmıştır.

$$MB = \frac{20}{200} * 10 \quad (7.28)$$

$$MB = 1 \quad (7.29)$$

Metilen mavisi deney sonucu KTŞ 2013 şartname limitleriyle karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.22'e işlenmiştir.

Çizelge 4.22 Metilen mavisi deney sonucu

Numune Malzeme	Şartname Limit	Deney Sonucu, MB	Sonuç
Alttemel	$\leq 4,0$	1	Uygundur
Temel	$\leq 3,0$	1	Uygundur

Traverten atığı numunenin metilen mavisi deney sonuçları incelendiğinde; malzemenin KTŞ 2013'de yer alan, alttemel ve temel malzeme olarak kullanılabilmesi için gerekli olan şartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.9. Kil Topağı ve Dağılabilen Tane Oranı Deneyi

Deney alttemel ve temel malzeme için ortak numune kullanılarak yapılmıştır. Elek aralıklarına uygun olarak hazırlanan malzeme miktarı Çizelge 4.23'de görülmektedir.

Çizelge 4.23 Kil topağı ve dağılabilen tane oranı deneyi numune miktarı

Numune Tane Aralığı, mm	Alınan Numune Miktarı, g	Artırımlı Miktar, g
19 -37.5mm	3029	3029
9.5 -19 mm	2012	5041
4.75-9.5 mm	1052	6093
1.18-4.75 mm	67	6160

Çizelge 4.24 Kil topağı deneyi eleme sonrası miktarı

Numune Tane Aralığı, mm	Eleme Sonrası Numune Miktarı, g	Eleme Sonrası Artırımlı Miktar, g
19 -37.5mm	3021	3021
9.5 -19 mm	2007	5028
4.75-9.5 mm	1048	6076
1.18-4.75 mm	65	6141

Saf suda 24 saat bekletilen numune malzeme elle ufalandıktan sonra tane aralığına karşılık gelen eleklerde ıslak eleme işlemine tabii tutulmuştur. 24 saat kurumaya bırakılan etüv kurusu malzemenin eleme sonrası ağırlıkları Çizelge 4.24'e işlenmiştir.

Kil topağı ve ufalanabilir tanelerin yüzdesi formülü Eşitlik 7.30'da gösterilmektedir.

$$P = \frac{(M-R)}{M} * 100 \quad (7.30)$$

P = Kil topağı ve ufalanabilir tanelerin yüzdesi, %

M = Deneysel numunesi kütlesi

R = Kil toprakları ve ufalanabilir taneler ayrıldıktan sonra kalan tanelerin kütlesi

Malzemenin kil topağı ve ufalanabilir tanelerin yüzdesi Eşitlik 4.23 ve 4.24'de hesaplanmıştır.

$$P = \frac{(6160-6141)}{6160} * 100 \quad (7.31)$$

$$P = \%0.31 \quad (7.32)$$

Numune malzemenin kil topağı ve dağılabilen tane oranı %0.31 olarak bulunmuştur.

ASTM C 142 standardı esas alınarak yapılan deney sonuçları KTŞ 2013 değerleri ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.25'e işlenmiştir.

Çizelge 4.25 Kil topağı ve dağılabilen tane oranı şartname limit değerleri

Numune Malzeme	Şartname Limit, %P	Kil topağı ve dağılabilen tane oranı, %P ort.	Sonuç
Alttemel	≤ 2,0	0.31	Uygundur
Temel	≤ 1,0	0.31	Uygundur

Traverten atığı numunenin kil topağı ve dağılabilen tane oranı deney sonuçları incelendiğinde; malzemenin KTŞ 2013'de yer alan, alttemel ve temel malzeme olarak kullanılabilmesi için gerekli olan şartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.10. Modifiye Proktor ve CBR Deneyleri

Bu bölümde modifiye proktor deneyi sonuçlarının incelemesi yapılmıştır. Deney sonucu elde edilen verileri kullanılarak, traverten atığı numune malzemeye yaş CBR deneyi uygulanmıştır.

##### 4.10.1. Modifiye proktor deneyi

Deney alttemel ve temel malzeme için ortak numune kullanılarak yapılmıştır. Deney için alınan 3000 g malzemeye elek analizi yapılarak 19 mm, 9.5 mm ve 4.75 mm elek üzerinde kalan malzeme miktarı ve yüzdeleri Çizelge 4.26'ya işlenmiştir. Hazırlanan numunede %20 ve daha az malzemenin 4.75 mm'lik elek üzerinde kaldığı görülmüştür.

Çizelge 4.26 Modifiye proktor deney numunesi elek analizi tespiti

Elek Çapı	Elek Üstü Kalan Miktar, g	Elek Üstü Artırmalı Miktar, g	Elek Üstü Kalan Yüzde, %	Elek Üstü Artırmalı Yüzde, %
19 mm	138	138	4.60	4.60
9.5 mm	164	302	5.46	10.06
4.75 mm	289	591	9.64	19.70
Tava	2409	3000	80.30	100

Yaş birim hacim ağırlığı ( $\rho_n$ ) formülü Eşitlik 7.33'de gösterilmiştir.

$$\rho_n = \frac{M_1 - M_2}{V} * 9.81 \quad (7.33)$$

Kuru birim hacim ağırlığı ( $\rho_k$ ) formülü Eşitlik 7.34'de gösterilmiştir.

$$\rho_k = \frac{100 * \rho_n}{100 + w} \quad (7.34)$$

V = Kalıp Hacmi (cm<sup>3</sup>)

M1 = Kalıp + Yaş Numune Kütlesi (g)

M2 = Kalıp Kütlesi (g)

w = Su muhtevası

Çizelge 4.27 Modifiye proktor deney sonuç tablosu

Proje	Tez Çalışması	Numune			Traverten Atığı Malzeme
Deney Standardı	Zeminde kuru birim hacim kütle - su muhtevasının 4,5 kilogramlık tokmakla elde edilmesi (yüksek enerji)				
Kalıp kütlesi, g	4523	Kalıbın hacmi, cm <sup>3</sup>			944
Kap No	1	2	3	4	5
Kap + Sıkıştırılmış numune, g (M1)	6801	6948	7007	6980	6941
Kap kütlesi, g (M2)	4523	4523	4523	4523	4523
Sıkıştırılmış numune, g	2278	2425	2484	2457	2418
Yaş birim hacim kütle, kN/m <sup>3</sup> ( $\rho_n$ )	23.67	25.20	25.81	25.53	25.13
Kuru birim hacim kütle, kN/m <sup>3</sup> ( $\rho_k$ )	22.65	23.71	23.86	23.19	22.36
Su muhtevası, Wn %					
Kap No	1	2	3	4	5
Yaş num. + kap, g	65.81	94.33	80.36	69.02	134.55
Kuru num. + kap, g	63.89	90.72	75.83	64.76	122.90
Su miktarı, g	1.92	3.61	4.53	4.26	11.65
Kap, g	21.48	33.44	20.44	22.50	28.78
Kuru numune, g	42.41	57.28	55.39	42.26	94.12
Su muhtevası, (%) (deneye dayalı)	4.53	6.30	8.18	10.08	12.38
Su muhtevası, (%) (teorik)	5	6	8	10	12

Hesaplanan yaş ve kuru birim hacim ağırlık değerleri ve diğer veriler Çizelge 4.27'de yer alan modifiye proktor deney sonuç tablosuna işlenmiştir.

%5 Su muhtevasında yaş birim hacim ağırlığı ( $\rho_{n1}$ ) Eşitlik 7.35 ve 7.36'da hesaplanmıştır.

$$\rho n1 = \frac{6801-4523}{944} * 9.81 \quad (7.35)$$

$$\rho n1 = 23.67 \text{ kN/m}^3 \quad (7.36)$$

%5 Su muhtevasında kuru birim hacim ağırlığı ( $\rho k1$ ) Eşitlik 7.37 ve 7.38'de hesaplanmıştır.

$$\rho k1 = \frac{100*23.67}{100+4.53} \quad (7.37)$$

$$\rho k1 = 22.65 \text{ kN/m}^3 \quad (7.38)$$

%6 Su muhtevasında yaş birim hacim ağırlığı ( $\rho n2$ ) Eşitlik 7.39 ve 7.40'da hesaplanmıştır.

$$\rho n2 = \frac{6948-4523}{944} * 9.81 \quad (7.39)$$

$$\rho n2 = 25.20 \text{ kN/m}^3 \quad (7.40)$$

%6 Su muhtevasında kuru birim hacim ağırlığı ( $\rho k2$ ) Eşitlik 7.41 ve 7.42'de hesaplanmıştır.

$$\rho k2 = \frac{100*25.20}{100+6.30} \quad (7.41)$$

$$\rho k2 = 23.71 \text{ kN/m}^3 \quad (7.42)$$

%8 su muhtevasında yaş birim hacim ağırlığı ( $\rho n3$ ) Eşitlik 7.43 ve 7.44'de hesaplanmıştır.

$$\rho n3 = \frac{7007-4523}{944} * 9.81 \quad (7.43)$$

$$\rho n3 = 25.81 \text{ kN/m}^3 \quad (7.44)$$

%8 su muhtevasında kuru birim hacim ağırlığı ( $\rho k3$ ) Eşitlik 7.45 ve 7.46'da hesaplanmıştır.

$$\rho k3 = \frac{100 \cdot 25.81}{100 + 8.18} \quad (7.45)$$

$$\rho k3 = 23.86 \text{ kN/m}^3 \quad (7.46)$$

%10 Su muhtevasında yaş birim hacim ağırlığı ( $\rho n4$ ) Eşitlik 7.47 ve 7.48'de hesaplanmıştır.

$$\rho n4 = \frac{6980 - 4523}{944} * 9.81 \quad (7.47)$$

$$\rho n4 = 25.53 \text{ kN/m}^3 \quad (7.48)$$

%10 Su muhtevasında kuru birim hacim ağırlık ( $\rho k4$ ) Eşitlik 7.49 ve 7.50'de hesaplanmıştır.

$$\rho k4 = \frac{100 \cdot 25.53}{100 + 10.08} \quad (7.49)$$

$$\rho k4 = 23.19 \text{ kN/m}^3 \quad (7.50)$$

%12 Su muhtevasında yaş birim hacim ağırlığı ( $\rho n5$ ) Eşitlik 7.51 ve 7.52'de hesaplanmıştır.

$$\rho n5 = \frac{6941 - 4523}{944} * 9.81 \quad (7.51)$$

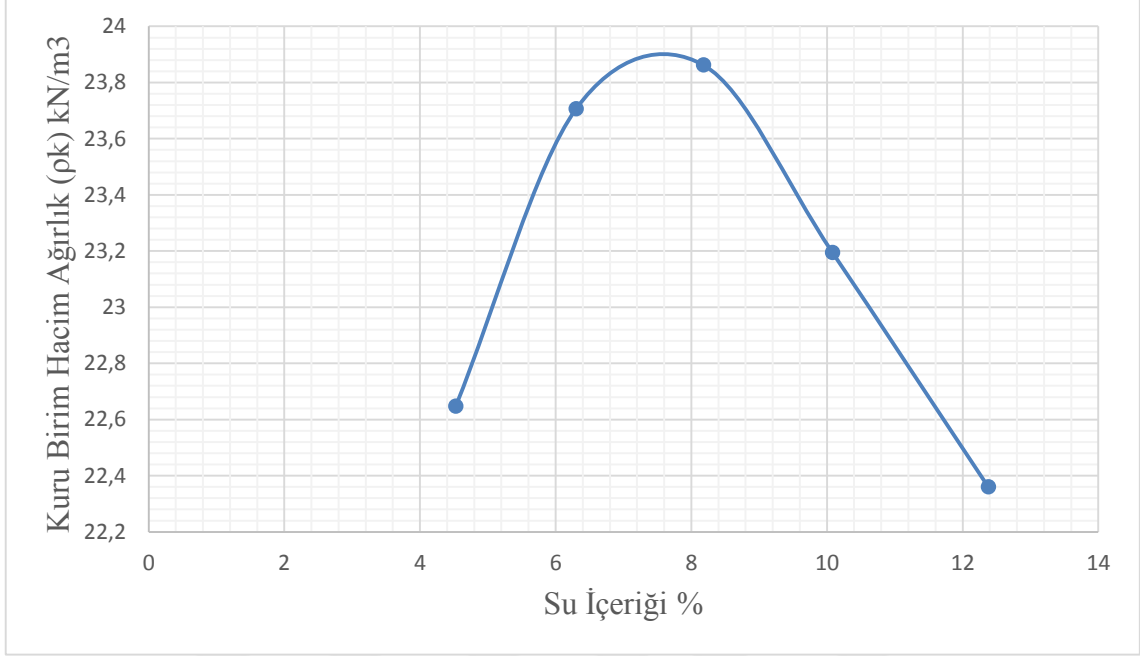
$$\rho n5 = 25.13 \text{ kN/m}^3 \quad (7.52)$$

%12 Su muhtevasında kuru birim hacim ağırlık ( $\rho k5$ ) Eşitlik 7.53 ve 7.54'de hesaplanmıştır.

$$\rho k5 = \frac{100 \cdot 25.13}{100 + 12.38} \quad (7.53)$$

$$\rho k5 = 22.36 \text{ kN/m}^3 \quad (7.54)$$

Modifiye proktor deney sonuç tablosundan yararlanarak, zeminlerin kuru birim ağırlıkları ordinat ekseninde ve buna karşılık gelen deneye dayalı su muhtevası absis ekseninde olmak üzere Şekil 4.5’de görülen grafik çizilmiştir.



Şekil 4.5 Su içeriği-kuru birim hacim ağırlık grafiği

Su içeriğine karşılık gelen kuru birim hacim ağırlıklar tayin edildiğinde, söz konusu değerler ile iç bükey bir eğri oluştuğu görülmüştür. Eğrinin tepe noktasına karşılık gelen su içeriği, sıkıştırılan zeminin “optimum su içeriği” olarak tespit edilmiştir. Maksimum kuru birim hacim ağırlık; sıkıştırılmış numunenin optimum su muhtevasına karşılık gelen kuru birim ağırlığı (kN/m<sup>3</sup> veya g/cm<sup>3</sup> cinsinden) olarak ifade edilmiştir.

Modifiye proktor (zeminde kuru birim hacim kütle - su muhtevasının 4.5 kilogramlık tokmakla elde edilmesi) deneyi neticesinde elde edilen sonuç grafikten yararlanarak tablo halinde Çizelge 4.28’de sunulmuştur.

Çizelge 4.28 Modifiye proktor deney sonuç

Tokmak kütlesi, kg	4.5	Kalıp çapı, mm	101.6
γk , kN/m <sup>3</sup>	<b>23.90</b>	Kalıp yüksekliği, mm	116.4
Wopt, %	<b>7.6</b>	Kalıp hacmi, cm <sup>3</sup>	944



Yapılan deneyler sonucu, numune malzemenin optimum su muhtevası **%7.6**, maksimum kuru birim hacim ağırlığı ise **23.90 kN/m<sup>3</sup>** olarak tespit edilmiştir. Sonraki aşamada numune malzemeye yaş CBR deneyi uygulanmıştır.

#### 4.10.2. Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyi

Deney alttemel ve temel malzeme için ortak numune kullanılarak yapılmıştır. Deney AASHTO T 193, 1900-2 standardı esas alınarak yapılmıştır. Modifiye proktor deneyinde hesaplanmış olan su muhtevasında hazırlanan numune malzeme, su geçişine izin veren molt içerisinde yüksek enerji ile sıkıştırması yapılarak, şişme yüzdesini hesaplayabilmek için dört gün suda bekletilmiştir. Dört gün sonunda numune, Kaliforniya taşıma oranının saptanabilmesi için CBR test cihazına yerleştirilmiştir. Şişme yüzdesini belirlemeye yönelik elde edilen veriler Çizelge 4.29'a işlenmiştir.

Çizelge 4.29 Şişme yüzdesi verileri

Şişme Sonuçları			
Tarih	Saat	Göstergede Okunan	Şişme %'si = $\frac{\text{Kabarma, mm}}{116.4 \text{ mm}} * 100$
15.04.2019	14.30	0.00	0
19.04.2019	14.30	0.00	0

KTŞ 2013 alttemel ve temel kullanım standartlarında yaş CBR deneyi verileri kriter olarak alınmaktadır. Bu sebeple traverten atığı numune malzemeye yaş CBR deneyi yapılmıştır. Dört gün suda bekletilen numune malzemedeki şişme gözlemlenmemiştir. Numunenin suda bekleme aşamalarına ait fotoğraflar Şekil 4.6'da yer almaktadır.



Şekil 4.6 Numunenin suda bekleme aşamaları

Deney numunesinin yaş ve kuru birim hacim ağırlıkları suya batırmadan önce ve sonra ayrı ayrı hesaplanmıştır. Numune malzemenin su muhtevasını tespit etmek için her aşamada bir miktar malzeme örneği alınarak etüvde kurumaya bırakılmıştır.

Kalıp hacmi (V) formülü Eşitlik 7.55’de gösterilmektedir.

$$V = \pi r^2 * h \quad (7.55)$$

Formül içerisinde yer alan yarıçap (r), kalıp çapının yarısı alınarak Eşitlik 7.56 ve 7.57’de hesaplanmıştır.

$$r = \frac{15.24}{2} \quad (7.56)$$

$$r = 7.62 \text{ cm} \quad (7.57)$$

Formül içerisinde yer alan yükseklik (h), kalıp yüksekliğinden, aralık diski yüksekliğinin çıkarılmasıyla Eşitlik 7.58 ve 7.59’da hesaplanmıştır.

$$h = 17.78 - 6.14 \quad (7.58)$$

$$h = 11.64 \quad (7.59)$$

Kalıp hacmi (V) Eşitlik 7.60 ve 7.61’de hesaplanmıştır.

$$V = 3.14 * 7.62^2 * 11.64 \quad (7.60)$$

$$V = 2122.23 \text{ cm}^3 \quad (7.61)$$

Yaş ve kuru birim hacim ağırlıklar  $\text{kN/m}^3$  biriminde hesaplanmıştır. Birim çevirme formülü Eşitlik 7.62’de gösterilmektedir.

$$1 \text{ g/cm}^3 = 9.81 \text{ kN/m}^3 \quad (7.62)$$

Yaş ve kuru birim hacim ağırlık formülü Eşitlik 7.63 ve 7.64’de gösterilmektedir.

Yaş birim hacim Ağırlık,  $\rho_n$

$$\rho_n = \frac{M_1 - M_2}{V} * 9.81 \quad (7.63)$$

Kuru Birim Hacim Ağırlık,  $\rho_k$

$$\rho_k = \frac{100 * \rho_n}{100 + w} \quad (7.64)$$

$M_1$  = Kalıp + Yaş Numune Kütlesi (g), suya batırmadan önce

$M_2$  = Kalıp Kütlesi (g)

$M_1'$  = Kalıp + Yaş Numune Kütlesi (g), 4 gün suda beklemiş

w = Su muhtevası

Deney aşamasında yaş ve kuru birim hacim ağırlıkların tespitine yönelik elde edilen veriler Çizelge 4.30’a işlenmiştir.

Çizelge 4.30 Yaş ve kuru birim hacim verileri

Proje	Tez Çalışması	Numune	Traverten Atığı Malzeme
Kuru Birim Ağırlığın Saptanması			
Numunenin Durumu	Suya Batırmadan Önce	Suya Batırdıktan Sonra	
Molt+Taban Ağırlığı, g	7021	7021	
Kalıp Hacmi, cm <sup>3</sup>	2122.23	2122.23	
Molt+Taban+Yaş Numune Ağırlığı, g	12614	12689	
Yaş Numune Ağırlığı, g	5593	5668	
Yaş Birim Ağırlık, kN/m <sup>3</sup>	25.85	26.20	
Kuru Birim Ağırlık, kN/m <sup>3</sup>	24.02	23.81	
Su İçeriğinin Saptanması			
Kap Ağırlığı, g	30.26	31.47	
Kap+Yaş Numune Ağırlığı, g	89.40	221.60	
Kap+Kuru Numune Ağırlığı, g	85.22	204.30	
Su Ağırlığı, g	4.18	17.30	
Kuru Numune Ağırlığı, g	54.96	172.83	
Su İçeriği, %	7.60	10.00	

%7.6 Su muhtevasında suya batırmadan önce yaş birim hacim ağırlığı ( $\rho n1$ ) Eşitlik 7.65 ve 7.66'da hesaplanmıştır.

$$\rho n1 = \frac{12614-7021}{2122.23} * 9.81 \quad (7.65)$$

$$\rho n1 = 25.85 \text{ kN/m}^3 \quad (7.66)$$

%7.6 Su muhtevasında suya batırmadan önce kuru birim hacim ağırlığı ( $\rho k1$ ) Eşitlik 7.67 ve 7.68'de hesaplanmıştır.

$$\rho k1 = \frac{100*25.85}{100+7.60} \quad (7.67)$$

$$\rho k1 = 24.02 \text{ kN/m}^3 \quad (7.68)$$

Suda dört gün bekletildikten sonra yaş birim hacim ağırlığı ( $\rho_n$ ) Eşitlik 7.69 ve 7.70'de hesaplanmıştır.

$$\rho_n = \frac{12689-7021}{2122.23} * 9.81 \quad (7.69)$$

$$\rho_n = 26.20 \text{ kN/m}^3 \quad (7.70)$$

Suda dört gün bekletildikten sonra kuru birim hacim ağırlığı ( $\rho_k$ ) Eşitlik 7.71 ve 7.72'de hesaplanmıştır.

$$\rho_k = \frac{100*26.20}{100+10.00} \quad (7.71)$$

$$\rho_k = 23.81 \text{ kN/m}^3 \quad (7.72)$$

Dört gün sonunda suyu akıtılan numune Şekil 4.7'de görülen CBR cihazına yerleştirilmiş ve penetrasyon batma değerlerine karşılık gelen yükler tespit edilmiştir.



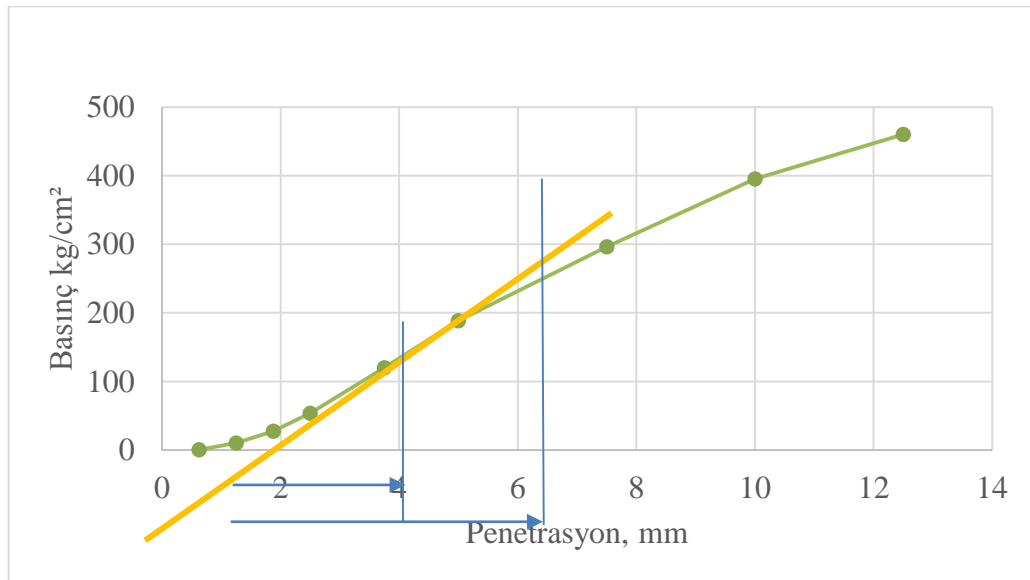
Şekil 4.7 CBR cihazı

Elde edilen veriler Kaliforniya taşıma oranının saptanabilmesi için Çizelge 4.31'e işlenmiştir.

Çizelge 4.31 Kaliforniya taşıma oranının saptanması

Taşıma Oranının Saptanması					
Piston Taban Alanı = 19.35 cm <sup>2</sup>					
Penetrasyon	Standart Basınç	Okunan Yük	Düzeltilmiş Yük		$CBR \% = \frac{\text{Basınç} * 100}{\text{Standart Basınç}}$
mm	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	
0.625		10			
1.25		194			
1.825		530			
2.50	70	1034	2903	150	214
5.00	105	3652	4838	250	<b>238</b>
7.50	134	5730			
10.00	162	7650			
12.50	183	8900			

Yatay eksene penetrasyon, düşey eksene basınç değerleri yazılarak, basınç-penetrasyon eğrisi çizilmiştir. Eğri başlangıçta içbükey eğilim gösterdiğinden, eğride düzeltme yapılmıştır. Düzeltilmiş basınç-penetrasyon eğrisi Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Düzeltilmiş basınç-penetrasyon eğrisi

Basınç değerleri kg/cm2 olarak hesaplanmıştır. Yaş CBR ise yüzde olarak ifade edilmektedir.

CBR yüzdesi hesaplama formülü Eşitlik 7.73'de gösterilmiştir.

$$CBR \% = \frac{\text{Basınç}}{\text{Standart Basınç}} * 100 \quad (7.73)$$

2.50 mm batmaya karşılık gelen CBR değeri Eşitlik 7.74 ve 7.75'de hesaplanmıştır.

$$CBR \% = \frac{150}{70} * 100 \quad (7.74)$$

$$CBR \% = 214 \quad (7.75)$$

5.00 mm batmaya karşılık gelen CBR değeri Eşitlik 7.76 ve 7.77'de hesaplanmıştır.

$$CBR \% = \frac{250}{105} * 100 \quad (7.76)$$

$$CBR \% = 238 \quad (7.77)$$

2.50 mm ve 5.00 mm'deki batmalara karşılık gelen CBR değerlerinden büyük olanı, %10 sapma payı içinde kalma şartını da sağladığından malzemenin yaş CBR değeri olarak alınmıştır. Traverten atığı malzemenin yaş CBR değeri 238 olarak bulunmuştur.

Bulunan yaş CBR değeri, KTŞ 2013'de yer alan alttemel ve temel malzeme için sağlanması gerekli kriterler kapsamında Çizelge 4.32'de değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.32 Kaliforniya taşıma oranı (CBR) KTŞ 2013 limit değerleri

Numune Malzeme	Şartname Limit, %	Bulunan Yaş CBR, %	Sonuç
Alttemel	>50	238	Uygundur
Temel	>100	238	Uygundur

Traverten atığı numunenin yaş CBR deney sonuçları incelendiğinde; malzemenin KTŞ 2013’de yer alan, alttemel ve temel malzeme olarak kullanılabilmesi için gerekli olan şartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.

#### **4.11. Traverten Atığı ve Kırma Taş İçin Maliyet Hesabı**

Taş ocaklarında, kaya parçalarını kullanılabilir boyutlara getirmek için sabit konkasör tesisleri kullanılmaktadır. Kırma taş malzemesi temin edilirken küçük parçalara ayrılmış ve istenilen karışım oranlarına uygun olarak verilmektedir.

Traverten atığı malzeme, traverten taş ocaklarında blok çıkarılması esnasında ya da traverten işleme tesisinde kesim ve sayalama esnasında ortaya çıkmaktadır. Traverten taş ocaklarında patlatma ya da kırımdan sonra uygun olmayan traverten blokları ya da uygun blokların kesildiği tesislerde kesimden çıkan fire malzeme atık olarak ayrıştırılmaktadır.

Traverten taş ocağında ve traverten kesme işleme tesislerinde sabit konkasör sistemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Eğer traverten atıklarının alttemel veya temel malzemesi olarak kullanılması planlanacaksa, bu atık travertenin mobil konkasörde kırılması ya da sabit konkasörü olan bir tesise taşınması gerekecektir.

Her iki yöntemde de traverten atığının uygun boyutlara getirilmesi için, kırma taşın ebatlandırılma maliyetinden fazla bir maliyet çıkması söz konusudur. Söz konusu maliyet iş bazında yapılması gerektiğinden hesaplanmamıştır.

Kırma taş için ise, KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü)/6000 poz numaralı “Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş malzeme ile alttemel yapılması” ve KGM/6040 “Temel yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)” poz analizlerinde yer alan, malzeme temini rayiç poz no KGM/08.021/K olarak Çizelge 4.33’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.33 Ocaktan taş hazırlanması poz fiyatı

Poz Numarası	Açıklama	Birim	Fiyatı, TL
KGM/08.021/K-(T)	Ocaktan taş hazırlanması	ton	8,73



#### 4.12. Traverten Atığı Malzeme ve Kırma Taş İçin Nakliye Hesabı

Traverten atığı malzemenin, alttemel ve temel tabakalarında kullanılabilirliğini incelerken nakliye mesafesi de önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır.

Doğal taşlar doğadan çıkarıldıklarından maliyetleri uygun seviyelerde olmaktadır. Ancak nakliye aşamasında ilave maliyet bedelleri ortaya çıkarmaktadır. Bu sebepten en uygun nakliye maliyeti, kısa nakliye mesafelerinde oluşmaktadır.

Nakliye mesafelerine göre taşıma formülleri Eşitlik 7.78 ve 7.79'da verilmiştir. Taşıma formülü, meyli  $\leq$  % 10 olan her cins kaplamalı yolda;

M= 10000 m'ye kadar olan taşımalar:

$$NB (TL/ton) = 0.00017 * K * \sqrt{M} * G \quad (7.78)$$

M> 10 km olan taşımalar:

$$NB (TL/ton) = ((0.0007 * M) + 0.01) * K * G \quad (7.79)$$

G = Yoğunluk, t/m<sup>3</sup>

K = Motorlu Araç Taşıma Katsayısı

M = Mesafe (< 10km ise metre, > 10km ise km)

NB (TL/ton) = Nakliye Bedeli (TL/ton)

2019 Yılı birim fiyatlarında, her cins ve tonajda motorlu araç taşıma katsayısı (K), 330 olarak verilmektedir. TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı standardından alınan traverten ve kırmataş için birim hacim kütle verileri Çizelge 4.34'de verilmiştir.

Çizelge 4.34 Traverten-kırmataş birim hacim kütle değerleri

Malzeme	Birim Hacim Kütle, kg/m <sup>3</sup>	Yığın Birim Ağırlığı, kg/m <sup>3</sup>
Traverten	2600	2200
Kum, çakıl, kırmataş	1800	1400

Mesafeye göre nakliye bedelini belirlemek için, farklı mesafelerde nakliye bedelleri hesaplanmıştır.

8 000 m mesafeye, traverten atığı malzemenin nakliye bedeli Eşitlik 7.80 ve 7.81’de, kırmataş malzemenin nakliye bedeli ise Eşitlik 7.82 ve 7.83’de hesaplanmıştır.

$$NB (\text{traverten}) = 0.00017 * 330 * \sqrt{8000} * 2.2 \quad (7.80)$$

$$NB (\text{traverten}) = 11.04 \text{ TL/ton} \quad (7.81)$$

$$NB (\text{kırma taş}) = 0.00017 * 330 * \sqrt{8000} * 1.4 \quad (7.82)$$

$$NB (\text{kırma taş}) = 7.02 \text{ TL/ton} \quad (7.83)$$

23 km mesafeye, traverten atığı malzemenin nakliye bedeli Eşitlik 7.84 ve 7.85’de, kırmataş malzemenin nakliye bedeli ise Eşitlik 7.86 ve 7.87’de hesaplanmıştır.

$$NB (\text{traverten}) = ((0.0007 * 23) + 0.01) * 330 * 2.2 \quad (7.84)$$

$$NB (\text{traverten}) = 18.95 \text{ TL/ton} \quad (7.85)$$

$$NB (\text{kırma taş}) = ((0.0007 * 23) + 0.01) * 330 * 1.4 \quad (7.86)$$

$$NB (\text{kırma taş}) = 12.06 \text{ TL/ton} \quad (7.87)$$

33 km mesafeye, traverten atığı malzemenin nakliye bedeli Eşitlik 7.88 ve 7.89’da, kırmataş malzemenin nakliye bedeli ise Eşitlik 7.90 ve 7.91’de hesaplanmıştır.

$$NB (\text{traverten}) = ((0.0007 * 33) + 0.01) * 330 * 2.2 \quad (7.88)$$

$$NB (\text{traverten}) = 24.03 \text{ TL/ton} \quad (7.89)$$

$$NB (\text{kırma taş}) = ((0.0007 * 33) + 0.01) * 330 * 1.4 \quad (7.90)$$

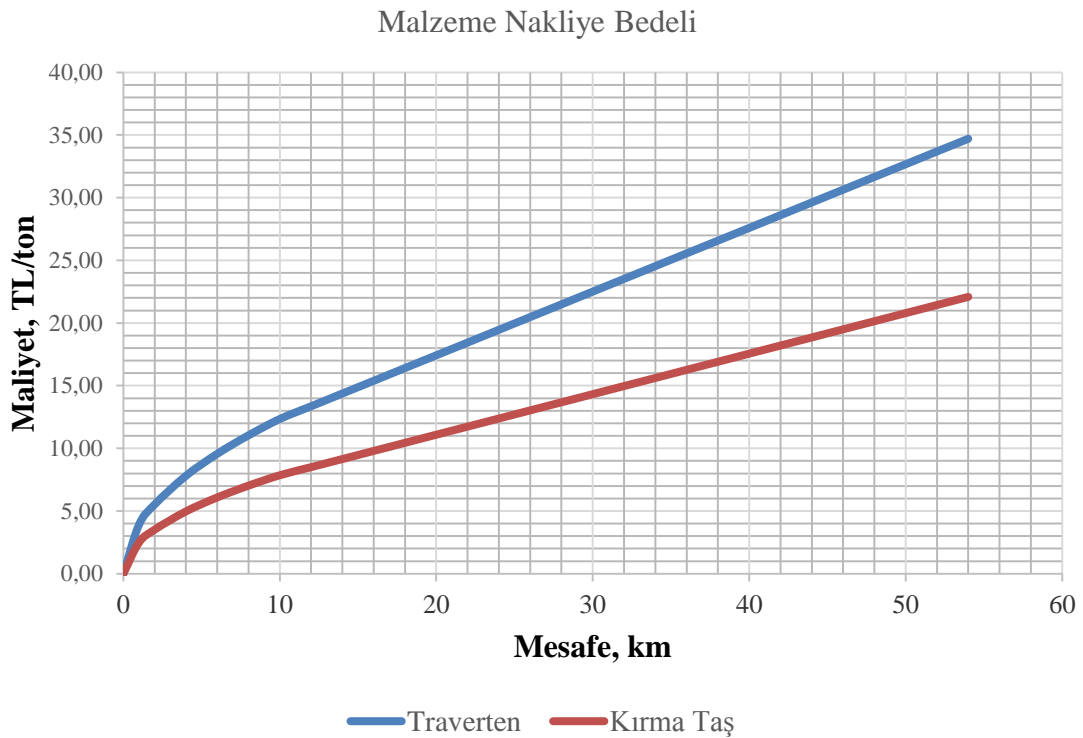
$$NB (\text{kırma taş}) = 15.29 \text{ TL/ton} \quad (7.91)$$

Bulunan maliyet değerleri izelge 4.35’de tablo halinde sunulmuştur.

Çizelge 4.35 Farklı mesafelerde 1 ton malzemenin nakliye bedeli

	K katsayısı 2019	Yoğunluk t/m <sup>3</sup>	8 km mesafe nakli, TL	23 km mesafe nakli, TL	33 km mesafe nakli, TL
Traverten	330	2.6	11.04	18.95	24.03
Kırma taş		1.8	7.02	12.06	15.29
Maliyet Farkı			4.02	6.89	8.74

Mesafeye göre maliyet değişim grafiği Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



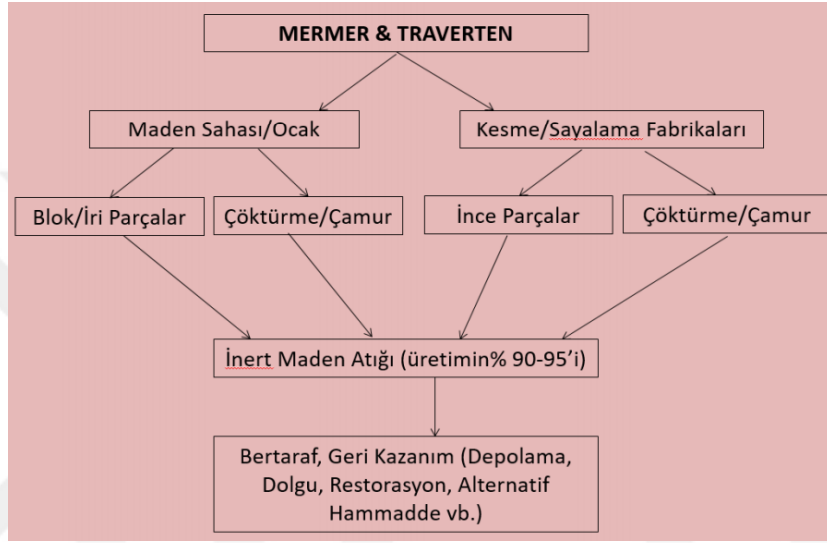
Şekil 4.9 Traverten- kırmataş mesafe-maliyet grafiği

Grafiğin incelenmesi sonucunda; taşıma mesafesi arttıka, traverten atığı malzemenin, kırma taşa oranla nakliye maliyetinin arttığı görülmüştür. 33 km mesafe uzaklığa yapılan taşımalarda, traverten atığı taşıma bedeli, kırmataş taşıma bedelinden 8,74 TL daha fazla olmaktadır. Kırma taşın ocakta hazırlanma bedeli olarak 8,73 TL hesaplanmıştı. Buna göre, atık bedeli ödenmediği varsayılrsa bile, traverten atığını alttemel ve temel tabakalarının yapımı için kullanacağımız mesafe 33 km’den fazla

olduğunda; traverten atığı kullanmanın, kırmataş malzemeye nazaran daha maliyetli hale geldiği görülmüştür.

#### 4.13. Traverten Atıklarının Çevresel Etkileri

Mermer madenciliğinden kaynaklanan atıklar, oluşum aşamaları ve bertaraf yöntemleri Şekil 4.10'da görülen tabloda yer almaktadır (Öztürk, 2018).



Şekil 4.10 Mermer-traverten atık oluşum aşamaları (Öztürk, 2018)

Mermer madenciliği, 3213 sayılı Maden Kanununda “II(b)-Mermer, Traverten, Granit, Andezit, Bazalt gibi blok olarak üretilen taşlar ile dekoratif amaçla kullanılan doğal taşlar” grubunda değerlendirilmekte olup, bu madenlerin aranması, çıkarılması ve fiziksel işlemlerle işlenmesi sonucunda oluşan maden atıkları, 15/07/2015 tarihli ve 29417 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak 15/07/2017 tarihinde yürürlüğe giren Maden Atıkları Yönetmeliğinde Ek-4/A İnert Atık Listesinde yer almaktadır.

Ebatları küçültme işleminde ise parça mermer kırıkları ortaya çıkmaktadır. Bu parça mermerlerin blok mermerin %15-25 oranında olduğu ifade edilmektedir. Mermer kırıntıları tesis çevresinde geliş güzel yerlere atılmaktadır. Bu durum mermer tesislerinin çevresinde çirkin görüntü oluşturmaktadır. Bu malzemeler konteynırlarda biriktirilmelidir. Yerlere atılmamalıdır. Aslında mermer kırıntıları geri kazanılabilir.

Maden Atıkları Yönetmeliğine göre arıtmadan çıkan çamurlar ve kesimden çıkan değerlendirilemeyen parça mermerlerin gelişi güzel araziye verilmesi yasaktır. Birçok şehirde bir kısım mermer fabrikaları mermer çamurlarını standartlara uymayan yerlere dökmektedirler. Bazı mermer fabrikaları ise gelişi güzel yerlere, dere yatakları gibi, atıklarını geceleri atmaktadırlar. Buda şehirde çirkin görüntüye neden olmaktadır. Blok mermer tesisleri mermer çamurları ve parça mermer atıkları ile çevreyi kirletemezler.

İnert atık olarak kabul edilen mermer atıklarının, alan ıslahı, dolgu ve restorasyonda kullanımı ilgili Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünden Maden Atıkları Yönetmeliği kapsamında izin alınmasıyla mümkündür. Ayrıca mermer atıkları, asit üreten pasa depolama alanlarında tamponlama için kullanılabilir (Öztürk, 2018).

Mermercilik faaliyetlerinin yoğun olduğu bölgelerde mermer işletmelerinden kaynaklanan atıkların depolama işlemleri ile ilgili bölgesel çözüme öncelik verilmelidir. Bu amaçla faaliyet sahipleri bir araya getirilerek, mermer atıklarının geri kazanımı/yeniden kullanımı konusunda çalışma yapmaları sağlanmalı, atıkların depolanması durumunda ise bölgedeki tüm mermer atıkları için en az sayıda ve uygun alanlar seçilerek depolanması yönünde çalışmalar yapılmalıdır.

Teknolojik ve ekonomik değeri olan mermer atıklarının değerlendirilmesi ne yazık ki çok düşük seviyede kalmaktadır. İnşaat sektöründe de bu atıkların geri dönüşüm döngüsü içerisinde kullanım alanı ve yaygınlığı, atıkları ortadan kaldıracak düzeyde değildir. Atık ürünlerin depolanması ya da doğal çevreye atılması çevre kirliliğine ve doğal kaynakların kirlenmesi gibi sorunlara neden olmaktadır. Günümüzde atık ve artık olarak ortaya çıkan malzemelerin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü konusunda yoğun olarak çalışılmaktadır. Kaynakların sürdürülebilir ve yenilenebilir halde kalabilmesi için ortaya çıkan atıkların uygun şekilde değerlendirilip geri kazanım döngüsü içerisinde kullanılması kaçınılmazdır. Atıkların yeniden kullanımı veya geri dönüşümü; sınırlı olan doğal kaynakların kullanımını azaltarak, doğanın tahrip edilmesini önlemekte, üretimde verimliliği artırmakta ve atık depolanması sonucu oluşacak çevre problemlerini en aza indirmektedir (İpek ve ark., 2014).

## 5. SONUÇ

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının resmi web sitesinde yer alan bilgiler doğrultusunda, doğal taş bakımından, jeolojik yapısı itibarıyla zengin bir potansiyele sahip olan ülkemizde, 4 milyar m<sup>3</sup> işletilebilir mermer, 2,8 milyar m<sup>3</sup> işletilebilir traverten, 1 milyar m<sup>3</sup> granit rezervi bulunmaktadır (Anonim, 2019). Bu değerlere göre Türkiye dünya doğal taş rezervinin yaklaşık %40'ına sahiptir.

Ülkemizde yıllık traverten üretim miktarının ortalama 1 milyon m<sup>3</sup>, birim hacim ağırlığını da 2.6 t/m<sup>3</sup> aldığımızda, yıllık traverten üretiminin yaklaşık 2.6 milyon ton civarında olduğu görülmektedir. Bu miktar da Türkiye'nin yıllık doğal taş üretiminin %24'ünün traverten olduğunu göstermektedir.

Ülkemizde yıllara göre traverten üretim miktarları Çizelge 5.1'de yer almaktadır.

Çizelge 5.1 2011-2016 Yılları traverten üretimleri

Maden Adı	Üretim Miktarı						Birim
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Traverten	1.7	0.8	0.7	0.8	1.2	1.1	Milyon m <sup>3</sup>

Taş ocaklarında ortalama 100 m<sup>3</sup> traverten alanı boşaltıldığında 15 m<sup>3</sup> traverten çıkarılmaktadır. Bu da ocak veriminin %15 olduğunu göstermektedir. Fabrikalarda ise üretim verimi %30'lara kadar düşmektedir. Moloz şeklinde fabrikalara gelen travertenlerden %70'e kadar atık oluşabilmektedir. Bu atıklar hem fabrikalara ilave maliyet oluşturmakta hem de tarımı olumsuz yönde etkilemektedir (Güven,2015).

Atık malzeme oranını %70 olarak alındığında; Türkiye'de yılda yaklaşık 735000 m<sup>3</sup> traverten atığı malzemenin açığa çıktığı görülmektedir.

Bir futbol sahasını ortalama 7500 m<sup>2</sup> olarak düşündüğümüzde, traverten atıklarının da iki metre yükseklikte figüre edildiğini varsayarsak; 49 futbol sahası büyüklüğünde alan her yıl ülkemizde traverten atıklarıyla dolmaktadır.

Atık sahalarının genişlemesi, doğal çevre yapısının bozulmasına, ocak alanlarında depolama sıkıntılarının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Traverten atıklarının çevreye yayılmadan değerlendirilmesi, doğal çevrenin korunmasını sağlayacak ve ocak sahiplerinin yeni depolama alanları oluşturma mecburiyetlerini de ortadan kaldıracaktır. Sektör raporunda ayrıca, doğal taştan malzemelerin mimar ve tasarımcılar tarafından daha fazla tercih edilmesi dünyadaki tüketici sayısının artmasına neden olduğundan bahsedilmektedir. Uzmanlar gelecek yıllarda bu gelişmenin süreceği tahmininde bulunmaktadır.

Ülkemizde bulunan yaklaşık 1500 taş ocağının belirli bir kısmının traverten ocağı olduğunu değerlendirdiğimizde, traverten ocaklarında önümüzdeki yıllarda artan ihracat rakamlarıyla traverten üretiminde artış olacağı düşünülmektedir. Bu artışla beraber traverten atıklarının da artması doğal sonuç olacaktır.

Traverten atıklarının sisteme kazandırılarak, traverten ocak ve işleme tesisleri civarındaki çevre tahribatının azalacağı öngörülmektedir.

Traverten atıklarının, alttemel ve temel tabakalarında kullanılmasının, nakliye maliyeti açısından; traverten ocağına ya da işleme tesisine yakın bölgelerde, traverten atığı ve atığı uygun gradasyona getirmek için ilave bedel ödenmediği takdirde ekonomik olduğu görülmüştür.

Bu tez çalışmasında Alaşehir (Manisa) bölgesindeki traverten atıklarının yol üst yapısında alttemel ve temel tabakalarında kullanılabilirliği incelenmiştir. Yapılan çalışmalar ve deneyler sonucunda traverten atığı malzemenin alttemel ve temel tabakalarında teknik olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- AASHTO T 89, 2013. Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils, American Association of State and Highway Transportation Officials.
- AASHTO T 90, 2014. Standard Method of Test for Determining the Plastic Limit and Plasticity Index of Soils, American Association of State and Highway Transportation Officials.
- AASHTO T 180, 2018. Standard Method of Test for Moisture–Density Relations of Soils Using a 4.54-kg (10-lb) Rammer and a 457-mm (18-in.) Drop, American Association of State and Highway Transportation Officials.
- AASHTO T 193, 2013. Standard Method of Test for The California Bearing Ratio, American Association of State and Highway Transportation Officials.
- Akıllı, A., 2012. Bazalt Agregasının Mekanik Özelliklerinin Yol Üstyapısında Kullanımı Açısından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Anonim, 2018. Kayaç Oluşum Döngüsü. <https://www.slideshare.net/elif001007/1241-toprakbilimi20131>, (10.12.2018).
- Anonim, 2019. Doğal Taşlar. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Taslar>, (12.04.2019).
- ASTM C 40, 2013. Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete, American Association of State and Highway Transportation Officials.
- ASTM C 142, 2010. Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates, American Association of State and Highway Transportation Officials.
- BS 812-105.1, 1989. Testing Aggregates. Method for Determination of Particle Shape-Flakiness Index. British Standart, England.
- Ceylan, H. ve Mança, S., 2013. Mermer Parça Atıklarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, 3(2), 21-25.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Birim Fiyatları, 2019.
- Çobanoğlu, İ., Çelik, S., Çam, O., Etiz, H. ve Kurşun, M., 2014. Denizli Bölgesi Traverten Artıklarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(3), 92-99.
- Çoruh, E., Hınıslioğlu, S., Kocakerim, M., Arasan, S. ve Oltulu, M., 2013. Borojipsin Alt Temel Tabakasında Stabilizasyon Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(2), 221-231.
- Demirel, Z. ve Orhan, F., 1994. Toprak ve Stabilizasyon Laboratuvarı Çalışmaları. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Eren, 2005. Sedimanter - Metamorfik Kayaçlar. [www.yasareren.com/yasareren/jmg.htm](http://www.yasareren.com/yasareren/jmg.htm), (02.06.2017).
- Ergezer, F., 2018. Sıcak Çermik Bölgesi (Sivas) Traverten Atıklarının Yol Temel ve Alt Temel Tabakalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 22, Özel Sayı, 181-188.



- Erkanol, D., ve Aydındağ, A., 2012. Araştırma Raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Erkek, D. ve Özdemir, S., 2011. Mermer ve Traverten Sektörüne Küresel ve Bölgesel Yaklaşım. Araştırma Raporu.
- Gürer, C., 2005. Atık Mermer Parçalarının Yol Kaplamalarında Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Güven, H., 2015. Denizli ve Çevresindeki Traverten Atıklarının Betonda Katkı Malzemesi Olarak Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Hunter, R. N., Self, A. ve Read, J., 2015. The Shell Bitumen Handbook sixth edition. Ice Publishing, 788 s, London.
- Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ. ve Eren, K., 2001. Asfalt ve uygulamaları, İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul.
- İpek, M., İyiliksever, R. ve Yılmaz, K., 2014. Atık Mermer Bulamacının Reaktif Pudra Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18. Cilt, 3.Sayı, 183-192.
- Kamacı, C., 2013. Traverten İşlenmesi Sırasında Karşılaşılan Problemler. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü Birim Fiyatları, 2019.
- Kaya, O. A., 2014. Esnek üstyapıların aşınma tabakasında elektrik ark fırını cürufunun agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Korkmaz, V., 2017. Bor Endüstri Atıkları ve Traverten Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Motor, E., 2007. Borojipsin Alttemel Tabakasında Stabilizasyon Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Okubay, M., 2016. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Agrega Olarak Mermer Atığı Kullanımının Araştırılması Mermer Atıklarının Bitümlü Sıcak Karışımların Stabilitate Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Orhan, F., 2012. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları. Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, Ankara.
- Öcal, A.D. ve Dal, M., 2012. Doğal Taşlardaki Bozunmalar. Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi.
- Özdemir, E., Sarıcı, D.E. ve Sarıcı, T., 2017. Doğu Anadolu Bölgesinde Bulunan Bazı Mermer Atıklarının Yol Temel ve Alttemel Tabakalarında Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı 39, 13-20.
- Öztürk, M., 2018. Mermer Kesiminden Kaynaklanan Çevre Kirliliği ve Önlemleri. Araştırma Raporu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Seren, I. S., 2015. Elektrik Ark Fırını Cürufunun Yapay Agrega Olarak Esnek Üstyapıların Çimento Bağlayıcı Granüler Temel Tabakasında kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- TS 699, 1987. Tabii Yapı Taşları, Muayene ve Deneysel Metotları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 825, 2008. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-3, 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 3: Tane Şekli Tayini- Yassılık İndeksi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-9, 2014. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 9: İnce Tanelerin Tayini- Metilen Mavisini Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-2, 2010. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için yöntemler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, 2002. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1367-2, 2011. Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1744-1, 2010. Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Kimyasal Analiz. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1900-1, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1900-2, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tunç, A., 2007. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. Nobel Yayınevi, 840 s, Ankara.
- Umar, F. ve Ağar, E., 1991. Yol Üstyapısı. İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, 339 s, İstanbul.
- Ural, N. ve Yakşe, G., 2015. Atık Mermer Parçalarının Yol Temel Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2 (2), 53-62.
- Yakşe, G., 2016. Atık Mermer Parçalarının Yol Temel Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- Yayla, N., 2004. Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi. İstanbul.
- Yılmaz, A. ve Süttaş, İ., 2008. Ferrokrom Cürufunun Yol Temel Malzemesi Olarak Kullanımı. İMO Teknik Dergi, 2008 4455-4470, Yazı 294.
- Yılmaz, A., Saltan, M. ve Akıllı, A., 2012. Göller Yöresinde İşletilen Kireçtaşı Agregalarının Yol İnşaatı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(3), 199-207.
- Yonar, F., Dikbaş, A. ve Doğan, I., 2017. Dökümhane Cürufunun Karayolu İnşaatında Dolguda ve Granüler Tabakalarda Kullanım Olanaklarının Araştırılması. 7. Geoteknik Sempozyumu 22-23-24 Kasım 2017, İstanbul.

## 7. ÖZGEÇMİŞ

Adı soyadı : Murat SÜER  
Doğum Tarihi ve Yeri : 09.03.1974 - TERME  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce/ Orta  
e-mail : suermurat@hotmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Bilgisi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	19 Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği	1999
Lise	Samsun Anadolu Lisesi	1992

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2000-2006	Hv. K. K.lığı Ankara, 3. İs. İnş. Tb.K.lığı	Proje Sb.
2006-2014	MSB Ankara, İnş. Eml. Blg. Bşk.lığı	Kontrol mühendisi, Kontrol şefi
2014-2018	MSB Malatya, İnş. Eml. Blg. Bşk.lığı	Kontrol şefi, Şube Müdürü
2018-Halen	MSÜ Hv. Asb. Mes. Yük. Ok. Md.lüğü Gaziemir/ İzmir	Öğretim Görevlisi