

**T.C.  
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**İNŞAAT MOLOZLARININ YOL ALT YAPI  
MALZEMESİ OLARAK KULLANILMASI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**YAVUZ SELİM SATIROĞLU**

**İSTANBUL, 2013**

**T.C.  
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ**

**İNŞAAT MOLOZLARININ YOL ALT YAPI  
MALZEMESİ OLARAK KULLANILMASI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**YAVUZ SELİM SATIROĞLU**

**Tez Danışmanı: Dr. İBRAHİM SÖNMEZ**

**İSTANBUL, 2013**

**T.C.**  
**BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**KENTSEL SİTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ**

Tezin Adı : İnşaat Molozlarının Yol Alt Yapı Malzemesi Olarak Kullanılması  
Öğrencinin Adı Soyadı : Yavuz Selim SATIROĞLU  
Tez Savunma Tarihi : 2013 / 06 / 21

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç. Dr. F. Tunç BOZDURA  
Enstitü Müdürü  
İmza

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. M. ILICALI  
Program Koordinatörü  
İmza

Bu Tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzalar

Tez Danışmanı  
Yrd. Doç. Dr. İbrahim SÖNMEZ

-----

Ek Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Aybike ÖNGEL

-----

Üye  
Prof. Dr. Mustafa ILICALI

-----

## ÖZET

### İNŞAAT MOLOZLARININ YOL ALT YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANILMASI

Yavuz Selim SATIROĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. İbrahim SÖNMEZ

İstanbul Haziran 2013, Ana Metnin Sayfa Sayısı 66

Günümüz dünyasında inşaat sektörü; çevre bilincinin artması ve sürdürülebilir yollar yapma inancı, doğal kaynaklardan verimli olarak faydalanmak ve katı atıkların geri dönüştürülmesi ile hammadde kullanımını tüm yaşam dönemleri boyunca benimsenmesi için çalışmakta ve araştırmaktadır. İnşaat sektörünün imalat süreçlerindeki girdileri asgari düzeye indirmeye, enerji tüketimini, emisyonları ve mekân kullanımını mümkün olduğu kadar azaltmaya çalışmaktadır.

Bu bağlamda geri dönüştürülmüş betonların yol alt yapısında seçme malzeme olarak ve üst yapısında alt temel katmanlarında hammadde girdisi olarak kullanılması irdelenmek istenmektedir. Zemin stabilizasyonunda mekanik stabilizasyon metodu ile geri dönüştürülmüş beton molozlarının tek veyahut iki farklı zeminin uygun oranda karıştırılmasıyla istenilen zemin haline dönüştürülmesi araştırılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Yol Alt Yapısı, Seçme Malzeme, Alt Temel, Geri Dönüşüm, İnşaat Molozları

## ABSTRACT

### USABILITY OF WASTE PRODUCT RUBBLE AS SUBBASE IN THE HIGHWAY ENGINEERING

SATIROĞLU, Yavuz Selim

Master's Thesis

Thesis Supervisor: Dr. İbrahim SÖNMEZ

Istanbul in June 2013, the main text of Pages 66

The construction industry in today's world, making the belief that increasing environmental awareness and sustainable ways, as efficient use of natural resources and raw materials, the use of solid waste recycling and working for the adoption throughout the entire life cycle exploring. Entries in the construction sector, the manufacturing processes to minimize energy consumption, emissions and seeks to reduce as much as possible the use of space.

In this context, recycled concrete as a subgrade and the upper structure of the infrastructure of the road subbase layers for use as raw material input required to be analyzed. Soil stabilization method for the mechanical stabilization of recycled concrete rubble Or the one desired by mixing appropriate proportions of the ground floor converted into two different investigated.

**Keywords:** Road Infrastructure Construction, Subgrade, Subbase, Recycling, Construction rubble

## İÇİNDEKİLER

TABLOLAR.....	viii
ŞEKİLLER.....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ULAŞIM MÜHENDİSLİĞİNDE ZEMİN ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 YOL KATMANLARI İLE İLGİLİ GENEL TANIMLAMALAR.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 ZEMİNLERİN BİLEŞENLERİ.....</b>	<b>8</b>
<b>2.3 AGREGALARIN SINIFLANDIRILMASI.....</b>	<b>9</b>
2.3.1 Mineralojik Yapısı.....	10
2.3.2 Boyut Sınıflandırması.....	10
2.3.3 Gradasyon Sınıflandırması.....	11
2.3.3.1 Yoğun-sürekli gradasyon.....	12
2.3.3.2 Boşluklu-sürekli gradasyon.....	12
2.3.3.3 Kesikli gradasyon.....	12
2.3.3.4 Tek Boyutlu (üniform) Gradasyon.....	12
2.3.4 Biçim Sınıflandırması.....	13
2.3.5 Yüzey Yapısı Sınıflandırması.....	14
2.3.6 Porozite Sınıflandırması.....	15
2.3.7 Yüzey Alanı ve Boşluk Sınıflandırması.....	16
2.3.8 Özgül Ağırlık Sınıflandırması.....	17
<b>2.4 AGREGANIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>19</b>
2.4.1 Stabilite.....	20
2.4.2 Durabilite (Dayanıklılık).....	21
2.4.2.1 Kırılma.....	21
2.4.2.2 Aşınma (digradasyon).....	21
2.4.2.3 Parçalanma (disintegradasyon).....	21
2.4.3 Adezyon (Yapışma).....	22
<b>2.5 ALT YAPI VE ÜST YAPI KATMANLARININ ZEMİN ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>22</b>
2.5.1 Alt Yapıda Seçme Malzeme Özellikleri.....	23
2.5.2 Üst Yapıda Alt Temel Malzeme Özellikleri.....	26

<b>3. UYGULANACAK METOT</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1 STABİLİZASYON METOTLARI</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1.1 Mekanik Stabilizasyon</b> .....	<b>31</b>
<b>3.1.2 Agregâ Kombinasyonu (Oranlandırma)</b> .....	<b>33</b>
<b>3.1.2.1 Deneme-yanılma metodu</b> .....	<b>33</b>
<b>3.1.2.2 Denklem çözümü metodu</b> .....	<b>34</b>
<b>3.2 ZEMİNLERDE YAPILAN DENEYLER</b> .....	<b>36</b>
<b>3.2.1 Los Angeles Deneyi</b> .....	<b>36</b>
<b>3.2.2 Don Dayanıklılık Deneyi</b> .....	<b>36</b>
<b>3.2.3 Yassılık ve İnce-Uzun İndeksleri Tayin Deneyi</b> .....	<b>37</b>
<b>3.2.4 Soyulma Deneyi</b> .....	<b>37</b>
<b>3.2.5 Yapışma Deneyi</b> .....	<b>37</b>
<b>3.2.6 Cilalanma Deneyi</b> .....	<b>37</b>
<b>3.2.7 Kırılmışlık Yüzdesi Deneyi</b> .....	<b>37</b>
<b>3.2.8 Agregâ Darbe ve Kırılma Direnci Deneyi</b> .....	<b>38</b>
<b>3.2.9 Agregâ İçindeki Kil Topakları ve Ufalanabilir Danelerin Tespiti Deneyi</b> ...	<b>38</b>
<b>3.2.10 Elek Analizi Deneyi</b> .....	<b>38</b>
<b>3.2.11 Özgül Ağırlık Deneyi</b> .....	<b>38</b>
<b>3.2.12 Su Absorbsiyon Deneyi</b> .....	<b>38</b>
<b>3.2.13 Sıkışma Deneyi (Proctor Testi)</b> .....	<b>39</b>
<b>3.2.14 CBR Taşıma Gücü Deneyi</b> .....	<b>39</b>
<b>3.2.15 Likit Limit Deneyi (LL)</b> .....	<b>40</b>
<b>3.2.16 Plastisite İndeksi Deneyi (PI)</b> .....	<b>40</b>
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>41</b>
<b>4.1 BETON MOLOZ MALZEMEDE YAPILAN DENEYLER</b> .....	<b>42</b>
<b>4.1.1 Yol Yapımında Beton Moloz Malzemenin Sınıflandırılması</b> .....	<b>43</b>
<b>4.1.2 Likit Limit Deneyi (LL)</b> .....	<b>45</b>
<b>4.1.3 Elek Analizi Deneyi</b> .....	<b>46</b>
<b>4.1.4 Sıkışma Deneyi (Proctor Testi)</b> .....	<b>49</b>
<b>4.1.5 CBR Taşıma Gücü Deneyi</b> .....	<b>54</b>

<b>5. DENEYSEL SONUÇLAR.....</b>	<b>60</b>
<b>5.1 MOLOZLARIN SEÇME MALZEMESİ OLARAK İRDELENMESİ.....</b>	<b>62</b>
<b>5.2 MOLOZLARIN ALT TEMEL MALMESİ OLARAK İRDELENMESİ.....</b>	<b>64</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>67</b>



## TABLULAR

Tablo 2.1	: Agregaların Büyüklüklerine Göre Sınıflandırılması.....	10
Tablo 2.2	: Koruyucu Tabaka Seçme Malzeme Özellikleri.....	24
Tablo 2.3	: Dona Hassas Olmayan Taban Malzemesinin Özellikleri.....	25
Tablo 2.4	: Dolgularda Sıkışma Kriterleri.....	25
Tablo 2.5	: Alt Temel Malzemesi Gradasyon Limitleri.....	27
Tablo 2.6	: Alt Temel Malzemesinin Fiziksel Özellikleri.....	28
Tablo 2.7	: Alt Temel Sıkışma Kriterleri.....	29
Tablo 3.1	: Üç Farklı Agregada Örnek Gradasyonu.....	33
Tablo 3.2	: Üç Farklı Agregada İçin Örnek (Deneme-Yanılma) Gradasyonu.....	34
Tablo 3.3	: Üç Farklı Zemin Örnek Gradasyonu.....	35
Tablo 3.4	: Üç Farklı Zemin İçin Örnek (Denklemler Çözümü) Gradasyonu.....	36
Tablo 4.1	: Dolgu Elek Analizi Deneyi ve Sınıflandırma.....	44
Tablo 4.2	: Zeminlerin Plastisite Dereceleri.....	45
Tablo 4.3	: Alt Temel Elek Analizi Tip B.....	48
Tablo 4.4	: Proctor Deney Özellikleri.....	49
Tablo 4.5	: Standart Proctor Deney Sonuçları.....	51
Tablo 4.6	: Modifiye Proctor Deney Sonuçları.....	53
Tablo 4.7	: CBR Deney Özellikleri.....	55
Tablo 4.8	: Standart Proctor CBR Deney Sonuçları.....	56
Tablo 4.9	: Modifiye Proctor CBR Deney Sonuçları.....	58
Tablo 5.1	: Deney Sonuçları.....	60
Tablo 5.2	: CBR ve Proctor Yoğunluk Kıyaslaması.....	61
Tablo 5.3	: CBR Değerleri.....	61
Tablo 5.4	: Beton moloz malzemesinin Seçme malzeme olarak irdelenmesi.....	62
Tablo 5.5	: Beton moloz malzemesinin dona hassas olmayan malzeme olarak İrdelenmesi.....	64
Tablo 5.6	: Beton moloz malzemesinin alt temel malzeme olarak irdelenmesi.....	65

## ŞEKİLLER

Şekil 1.1	: ABD’de Geri Dönüşümü Yapılan Bazı Malzemeler ve Yüzdesi.....	2
Şekil 1.2	: Sabit Konkasör Tesisi.....	3
Şekil 2.1	: Tipik Bir Yol Enkesiti ve Yol Elemanları.....	8
Şekil 2.2	: Agregada Gradasyon Tipleri.....	11
Şekil 2.3	: Agregada Tane Biçim Sınıflandırması (2 Boyut).....	13
Şekil 2.4	: Agregada Tane Biçim Sınıflandırması (3 Boyut).....	13
Şekil 2.5	: Yüzey Yapısı Sınıflandırması.....	15
Şekil 2.6	: Porozite Sınıflandırması.....	16
Şekil 2.7	: Yüzey Alanı ve Tane Çapı-Boşluk Oranı.....	16
Şekil 2.8	: Agregada Tanesindeki Hacim ve Ağırlık İlişkisi.....	17
Şekil 2.9	: İnce Malzeme Özgül Ağırlık Testi (Balon Testi).....	19
Şekil 2.10	: Kaba Malzemenin Özgül Ağırlık Testi.....	19
Şekil 3.1	: Zemin Kıvam Durumu.....	40
Şekil 4.1	: Mobil Konkasör Tesisi.....	41
Şekil 4.2	: Stok Sahası.....	42
Şekil 4.3	: Cassagrende Aleti Likit Limit.....	46
Şekil 4.4	: Beton Moloz Elek Analiz Agregaları.....	47
Şekil 4.5	: Standart Proctor Deneyi.....	52
Şekil 4.6	: Standart Proctor Numunesi.....	52
Şekil 4.7	: Modifiye Proctor Deneyi.....	54
Şekil 4.8	: Standart Proctor CBR Deney Numunesi.....	57
Şekil 4.9	: Standart Proctor CBR Penetrasyon Cihazı.....	57
Şekil 4.10	: Modifiye Proctor CBR Deney Numunesi.....	59
Şekil 4.11	: Modifiye Proctor CBR Penetrasyon Cihazı.....	59

## 1. GİRİŞ

Gelecek kuşaklara iyi bir yaşam sürmeleri güvencesini verebilmemiz ve küresel ısınmaya karşı koyabilmemiz için yaşam tarzlarımızı nasıl düzenlemek zorunda olduğumuzu ve hangi önlemleri almamız gerekliliğini 20.inci yy 'da kentlerde nüfus artışı ile birlikte insanların iş ve sosyal yaşantısındaki gereksinimleri ve çevre bilincinin artması tartışılır olmuştur. Bu esasen sürdürülebilir gelişmenin dolaylı bir anlatımıdır. Yani, yarının gereksinimlerini karşılamak mümkün olsun diye her karar verme aşamasında ekonomik, ekolojik ve sosyal faktörleri göz önünde bulundururken var olan gereksinimlere bir cevap bulabilmek için “sürdürülebilir inşaat” dan bahsedilmeye başlanmıştır.

Sürdürülebilirliğin tanımı özellikle ulaşım altyapısı ve yollar içinde kullanılabilir:

“Sürdürülebilir yollar, doğal kaynaklardan verimli olarak faydalanırlar ve tüm yaşam dönemleri boyunca çevreye saygılıdırlar; tüm toplum için ulaşım olanaklarını geliştirirler, tasarım, yapım, bakım ve yıkım konularında mantıklı tercihler sayesinde rahatlık, emniyet ve devingenlik yönlerinden topluma hizmet sağlarlar.” Bu kapsamda sürdürülebilir ulaşım altyapısında geri dönüşüm önemli değer kazanmakta ve toplumları arayış içine sokmaktadır.

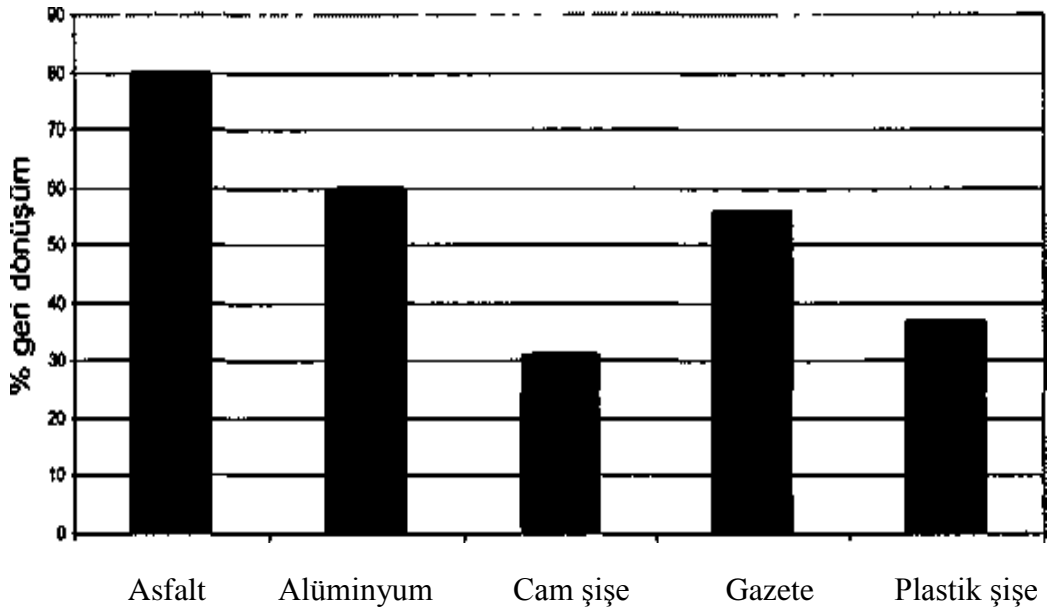
Atıkların hammadde gibi kullanılarak yeni bir maddeye dönüştürülmesine geri dönüşüm denir. Ekonomik zorluklarla karşı karşıya bulunan ve kalkınmakta olan ülkelerin de tabii kaynaklarından uzun vadede ve maksimum bir şekilde faydalanabilmeleri için atık israfına son vermeleri, ekonomik değeri olan maddeleri geri kazanma ve tekrar kullanma yöntemlerini araştırmaları gerekmektedir.

Geri dönüşüm ile doğal kaynakların korunmasına katkı sağlanır. Doğal kaynaklarımız dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeni ile her geçen gün azalmaktadır. Bu nedenle malzeme tüketimini azaltmak, değerlendirilebilir nitelikli atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynaklarımızı verimli kullanmak zorundayız. Dolayısıyla geri dönüşüm doğal kaynaklarımızın korunması ve verimli kullanılması için son derece önemli bir işlemdir.

Hammaddenin en çok tüketildiği sektörlerden biriside inşaat sektörüdür. İnşaat sektörü, imalat süreçlerindeki girdileri asgari düzeye indirmeye, hammaddelerin kullanılmasını, enerji tüketimini, emisyonları ve mekân kullanımını mümkün olduğu kadar azaltmaya çalışmaktadır.

Katı atıkların kaynakları incelendiğinde; inşaat, madencilik, sanayi ve evsel çöpler olmak üzere dört ana sektör ön plana çıkmaktadır. İnşaat ve yıkım atıkları yüzde 34'lük payla en büyük sektördür. Tüketilen malzemelerin başında beton, asfalt, ahşap, alüminyum, demir gibi malzemeler gelmektedir. Bu tür malzemeler geri dönüşümde çok yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Amerika'da asfalt malzemedeki geri dönüşüm oranı yüzde 80'dir. Bu değerden alüminyum, cam, plastik gibi geri dönüştürülebilen malzemelerden daha fazla geri dönüştürüldüğü anlaşılmaktadır.

Şekil 1.1'de A.B.D.'de geri dönüşümü en fazla yapılan malzemeler ve bunların geri dönüştürülme yüzdeleri görülmektedir.



Şekil 1.1 A.B.D.'de geri dönüşümü yapılan bazı malzemeler ve yüzdeleri

Atıkların azaltılması, kullanılabilir malzemelerin yeniden kullanımı ve geri kazanımı, geri kalan kısmın depolama alanlarında toplanması şeklindeki bir düzen içerisinde değerlendirilmektedir. İnşaat ve moloz atıkları geri kazanılabilir ve ikinci hammadde

olarak kullanılabilir. Bu atıkların geri kazanımı, mobil, yarı mobil ve sabit tesisler ile gerçekleştirilebilir.

Avrupa'da 12.000'den fazla işletme yılda 300 milyon metreküp beton üretmektedir. Yıllık hazır beton tüketimi 0,3 – 1,40 metreküp/kişi seviyesindedir. Yaklaşık 720 milyon ton malzemenin ve buna tekabül eden enerjinin kullanımı kuşkusuz çevre bakımından çok önemli sonuçlar yaratmaktadır. Bir bina yada yapının yıkılması gerektiği zaman, elde edilen eski beton, kırılarak beton agregası yada yollarda zemin altı malzemesi olarak yeniden kullanılabilir.

Betonun ağır matriksi onu, aynen veya çok az güç ve performans kaybına uğrayarak kullanılabilen ideal bir geri dönüşümlü malzeme yapar. İnşaat molozlarındaki betonun %100 geri dönüşebilen, atıl bir malzemedir. Eskimiş beton kaplamalar ve atık betonların çoğunluğu kırma ve eleme tesisine gönderilir. Sabit ya da mobil kırma makinalarında parçalandıktan sonra demir gibi yabancı maddelerden mıknatıslar aracılığı ile arındırılır. Şekil 1.2'de bir sabit konkasör şantiyesi görülmektedir.



**Şekil 1.2 Sabit konkasör tesisi**

Daha sonra beton molozlar beton agregası, dolgu malzemesi, silindirle sıkıştırılmış beton olarak yol alt yapı temel ve alt temellerinde kullanılarak geri dönüştürülmüş olurlar. Bunun yanında kırma taş, grobeton, döşeme altlarında yastık olarak ve parke taşı, sıva, peyzaj elemanlarının yapımında kullanılabilirlerdir.

1980'li yıllarından başlarından beri Almanya, Hollanda, Avusturya, İsveç, Macaristan gibi ülkelerde inşaat malzemesi atıkları, çeşitli tesislerde işleme tabi tutularak geri kazanılmakta ve değerli malzeme olarak yeniden kullanıma sokulmaktadır.

Avustralya Victoria'da geri dönüştürülmüş beton agregalar çeşitli uygulamalarda çok sık kullanılmaktadır. Burada yapılan çalışmalar geri dönüştürülmüş beton agregalarının normal agrega yerine veya beton üretiminin yapısal olmayan uygulamalarında kullanılabilirliğini göstermiştir. Geri dönüştürülmüş beton agregaları özellikle yol inşaatı için temel dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu uygulama yıkılmış beton atıklardan faydalanmayı sağladığı gibi sektör içerisinde de önemli miktarlarda atık azalmasına imkan tanımaktadır.[Sagoe-Crentsil & Brown,1998]

1990-1995 yılları arasında Avrupa'da üretilen katı atık miktarında %10'luk bir artış meydana gelmiştir. Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD)'nün tahminlerine göre 2020 yılında, 1995'tekinden % 45 daha fazla atık üretilecektir.

Yol kaplama betonunda beton molozu geri dönüştürmek tamamen mümkündür, iki tabaka halinde serilecek betondaki iri agreganın % 60 veya daha fazlası yerine yol betonu molozu kullanılabilir. Bu Avusturya'daki standart inşaat uygulamasıdır ve diğer ülkelerde de (Almanya, Polonya, ve diğerleri) uygulanmaktadır. Belçika da bu örneği takip etmiştir: Belçika'daki ilk önemli uygulama 2007 – 2008 yıllarında Zwijndrecht ve Melsele arasındaki N49/ E34 'ün 3 km' lik bölümünün yeniden yapımında yer almıştır.

Ülkemizde henüz uygulaması olmasa da Amerika Birleşik Devletlerinde her yıl 200 milyon metreküp beton kaplamanın geri dönüşümü yapılmakta, kanuni yaptırımla 44 eyalette geri dönüştürülmüş beton agregası kullanılmak zorunludur.

İnşaat ve yıkıntı atıklarından elde edilen beton atıklarının yeniden kullanımı ve geri kazanımı çevresel ve ekonomik yönden yarar sağlayabilecektir. Günümüzde inşaat yıkıntı atıklarının taşıma ve depolama alanı ücretleri, depolama alanlarına atılmaları, geri kazanımının maliyetine göre çok daha pahalı duruma gelmiştir.

Atık yönetiminde kullanılan “düzenli depolama tekniği” ise Türkiye için yeni bir uygulama olmakla birlikte henüz istenilen düzeye ulaşamamıştır. Eski düzensiz depolama sahalarının kapatılması ve rehabilite edilmesi gerekliliği karşısında yerel yönetimler düzenli depolama sahalarının planlanması, inşa edilmesi, finansmanı ve işletilmesi konularında desteğe ihtiyaç duymaktadırlar. İnşaat sektörü hammaddenin en fazla kullanıldığı alanlardan biridir. İnşaat sektörü girdi maddelerini düşürmeye, emisyon oranlarını azaltmaya ve alan kullanımını verimli yapmaya çalışmaktadır.

Türkiye’de yılda 125 milyon ton hafriyat bertaraf edilmektedir. Ancak, kentsel dönüşüm çalışmalarıyla birlikte bu miktarda büyük bir artış olacaktır. Her 1 metreküp inşaat/yıkıntı atığından yaklaşık 0,60 metreküp malzeme geri dönüştürülmektedir.

Bir metreküplük betonun üretim maliyeti içerisinde en büyük payı %40 ile çimento tutarken, ikinci sırada yüzde 20 ile iri agrega gelmektedir. İnşaat ve yıkıntı atıklarından elde edilen beton atıkları, kırılıp parçalandıktan sonra en çok, iri ve ince agrega olarak kullanılabilir. Geri kazanılmış agregalar doğal agregalara göre çok daha ucuzdur. Buna göre geri kazanılmış agreganın yeniden kullanımı ile önemli ölçüde ekonomik kazanç sağlanabilecektir.

Türkiye’de geri kazanılmış ürünlerin, ilgili standartları sağlamak şartı ile gerekli işlemlerden sonra orijinal malzemeler ile birlikte veya ayrı olarak, yeni beton üretiminde, yol, otopark, kaldırım, yürüyüş yolları, drenaj çalışmaları, kanalizasyon borusu ve kablo döşemelerinde dolgu malzemesi olmak üzere, alt ve üst yapı inşaatlarında, spor ve oyun tesisleri inşaatları ile diğer dolgu ve rekreasyon çalışmalarında öncelikli olarak kullanılabilir.

## 2. ULAŞIM MÜHENDİSLİĞİNDE ZEMİN ÖZELLİKLERİ

1920 yılına kadar yol yapımında daha çok kaplamaya dikkat edilir alt yapıya fazla önem verilmezdi. Dünyadaki büyüme ve ekonomik gelişmelerin sonucunda toplumların ihtiyaçlarının karşılamak üzere her geçen gün taşıtların hızları, ağırlıkları, kapasitelerinde büyümeler meydana gelmiştir. Ayrıca dünyadaki ticaret hacminin artışıyla trafik miktarındaki hızlı artış neticesinde, bu tarihten itibaren yolun geometrik standartlarında bir takım değişikliklerle beraber yol gövdelerinin tasarımında dayanıklı bir üst yapı ve alt yapı inşası zorunlu hale gelmiştir.

Yapılan gözlemler ve araştırmalar neticesinde yolun hizmet ömrü boyunca görevini ihtiyacı konforlu ve dayanıklı karşılaması için sadece üst yapının iyi bir şekilde yapılmasının yeterli gelmediği sonucuna varılmıştır. Bu doğrultuda üst yapının oturduğu alt yapı ve taban zemininin durumu irdelenmeye başlamıştır. Alt yapının durumunun yol inşa maliyeti ve bakım masrafları açısından büyük önem kazanmıştır. Günümüz dünyasında ekonomik zorluklarla karşı karşıya bulunan ve kalkınmakta olan ülkelerin de tabii kaynaklarından uzun vadede ve maksimum bir şekilde faydalanabilmeleri ekonomik değeri olan maddeleri geri kazanma ve tekrar kullanma yöntemlerini araştırmaları gerekmektedir. Bu bölümde yol alt yapısı ve alt temel katmanlarında karakteristik özellikleri ülkemizde kabul edilen şartnamelerden bahsedilecektir. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından yol inşası esnasındaki kullanılan zeminlerin malzeme özellikleri üzerinde durulacaktır.

### 2.1 YOL KATMANLARI İLE İLGİLİ GENEL TANIMLAMALAR

Taşıt ve yayaların ulaşmaları sırasında karayolunu kolaylıkla kullanabilmeleri için doğal zeminin belli bir en kesit şeklinde dönüştürülmesi icap eder. Bu nedenle yolda bazı yerler kazılır, bazı yerler doldurulur. İşte bu kazma ve doldurma işlerine **toprak işi** denilmektedir.

Toprak işi sonucunda doğal zeminin düzeltilmesine **tesviye** ortaya çıkan yüzeye **tesviye yüzeyi** denilmektedir. Tesviye yüzeyinin uygun enine ve boyuna eğim verilerek iş makineleri ile düzeltilmesi ince tesviye **reglaj** adı verilmektedir.



Yolun toprak işi sonunda saptanan kot (yükseklik) ve en kesitte uygun şekilde getirilmiş kısmına **alt yapı** denilmektedir. Alt yapı yolun esas taşıyıcı kısmıdır. Yolda oluşturulan alt yapının taşıyıcılık görevini iyi bir şekilde yapabilmesi için başka tabakalar inşa etmek gerekmektedir.

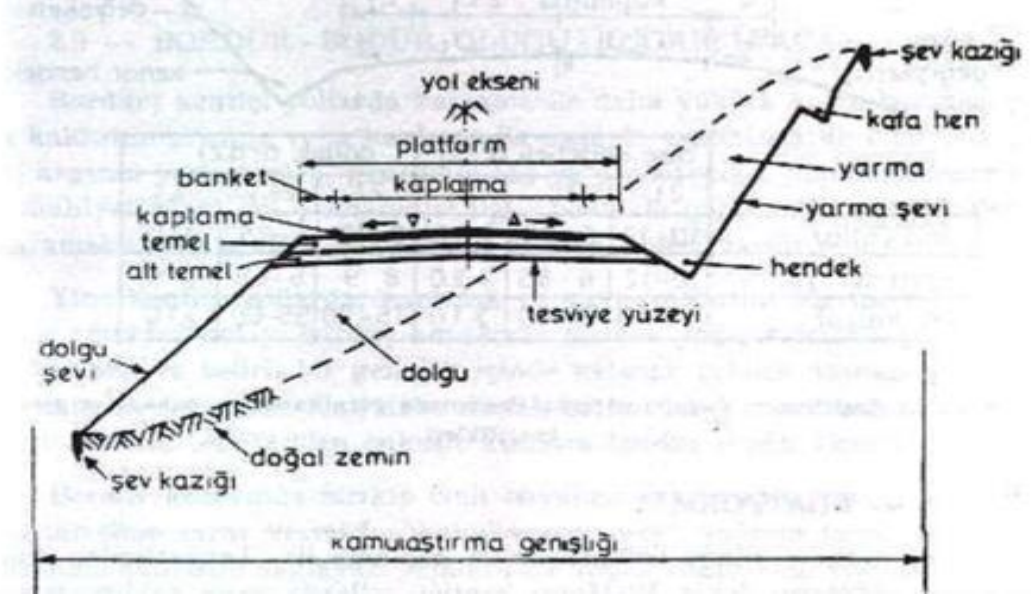
Yolda oluşan trafik yükünü taşımak ve bu yükü taban zeminin taşıyabileceği taşıma gücünü aşmadan oluşturulan yol yüzeyine dağıtmak için alt yapı üzerine inşa edilmesi gereken tabakalardan oluşan katmanlar gerekmektedir. Bu katmanlar temel altı alt temel, temel ve yol kaplama tabakalarından oluşan kısmına **üst yapı** denilmektedir.

Tesviye yüzeyi üzerine serilen ve kum, çakıl, taş kırığı ve cürufklar gibi granüler zemin malzemesinden inşa olunan tabakaya **alt temel** denilmektedir. Kaplamadan gelen trafik yükünün taban üzerine yayılmasında üzerinde bulunan temel tabakasına yardımcı yanında, su ve don tesirlerine karşı tampon bölge vazifesi görmektedir. Temel tabakasının maliyetinin yüksek olmasından dolayı tabaka kalınlığının azaltılması için alt temel tabakası inşa edilir böylece ekonomi sağlanmış olur.

Yol kaplama tabakası ile alt temel arasında granüler zemin malzemesi ile inşa olunan tabakaya **temel tabakası** denilmektedir. Yol tabakasında özel önemi olan bu tabakanın başlıca görevi kaplamadan intikal eden trafik yükünü taban üzerine yaymak ve trafikten gelen darbe tesirlerini yok etmektir.

Temel tabakası üzerine inşa olunan ve trafiğin doğrudan doğruya temas ettiği bitümlü karışımlar, beton, parke vb. malzemeler ile yapılan tabakaya kaplama tabakası denilir. Düzgün bir yuvarlanma yüzeyi temin etmek olan bu tabaka birkaç katmandan oluşmaktadır. Bu katmanların en üstünde bulunan tabaka trafik ve iklim koşullarına karşı koyan **aşınma tabakası** başlar. Bunun altındaki katman **binder tabakası**'dır, trafik yükünü çok olduğu karayollarında son kaplama katmanı **bitümlü temel tabakası** bulunur.

Alt yapı ve üst yapıdan oluşan yol gövdesinin oturduğu doğal zemine **yol tabanı** denilmektedir. Tanımları yapılan yol elemanları Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.1** Tipik bir yol enkesiti ve yol elemanları

Alt yapı, yol tabanına inşası sırasında yol gövdesindeki kaplama, temel ve alt temel tabakalarından oluşan üst yapının oturduğu kısımdır. Yolun yarma (kazı) kesimlerinde, alt yapı alt temel tabakası altındaki doğal zemindir. Dolgu kesimlerinde ise alt yapı yarma kesimlerinden veya ödünç yerlerden (ariyet) taşınan toprak ile doğal zemin üzerine inşa edilir.

## 2.2 ZEMİNLERİN BİLEŞENLERİ

Zeminler kayaların fiziksel ve kimyasal etkileri sonucunda ufalanmalarından ve ayrışmalarından oluşan katı mineral parçalarından oluşmuştur. Bu parçalar arasındaki boşluklar su ve hava ile doldurulur. Zemini teşkil eden kayalar oluşumlarına göre

- Katılışım (püskürük)
  - Tortul
  - Metaformik (başkalaşım)
- olmak üzere üç ana gruba ayrılır.

Püskürük kayalar eriyik halde bulunan magmanın yeryüzüne çıkarak soğuması sonucu oluşurlar. Tortul kayalar, kayaların aşınıp parçalanması her türlü yeryüzü hareketleri ile göl ve denizlerin taşınması ve çökmesi sonucunda oluşur. Metaformik kayalar püskürük ve tortul kayaların uzun zaman içerisinde yüksek basınç ve ısı etkileri altında dokusal değişim sonucunda oluşurlar.

Yeryüzüne yakın yerlerde 50-60 cm derinliklerde su ve havadan başka bitki ve organik maddelerde bulunmaktadır. Ulaşım yapıları için çok tehlikeli olan bu zeminin yol yapım sırasında karşımıza katı, plastik ve likit halde karşımıza çıkmaktadır. Yol inşası içerisinde ve yük altında zemini oluşturan danelerin fiziksel özelliklerinin incelenmesi ve stabilizasyon karar verilmesi gerekmektedir.

Zeminlerin ana fiziksel özellikleri

- Dane şekli, büyüklüğü ve dağılımı (gradasyonu)
- Yapısı
- Yoğunluğu ve özgül ağırlığı
- Kıvamı
- Çökme ve sürüklenme durumu olarak sıralanabilir.

### **2.3 AGREGANIN SINIFLANDIRILMASI**

Bir zeminin özelliklerinin belirlenmesinde zemini oluşturan agregaların durumunun bilinmesi gereklidir.

- Mineralojik yapısı
- Boyutu
- Gradasyonu
- Biçimi
- Yüzey yapısı
- Porozitesi
- Yüzey alanı ve boşluk oranı
- Özgül ağırlık olarak sınıflandırılabilir.

### 2.3.1 Mineralojik Yapısı

Agregalar genel olarak dere malzemesi, kırma taş, yapay taşlar olarak sınıflandırılır. Dere yataklarında bulunan agregalar suyun aşındırma etkisi ile yuvarlak biçiminde olarak bulunmaktadır. Dolayısıyla dere agregaları oldukça sağlamdırlar. Fakat yassı ve plak biçiminde olduğundan zeminde zayıf ve gevrek bir agrega özelliği taşıdığından yol yapımında kullanılmazlar. Ancak dere agregası konkasörde kırıldıktan sonra kırılan çakıl ve kumu asfalt kaplamasında kullanılabilir.

Yol yapımında kullanılacak ideal agregalar malzeme ocaklarından çıkarılan kayaların konkasörde kırılması ile elde edilen mineral agregalardır. Doğal malzeme olan kayaların kırılması suretiyle köşeli (kübik) agrega biçimi ile zeminin taşıma yükü altında şekil bozukluklarına karşı mukavemeti artırılır.

Yapay taşlar fırınlarda üretildikleri için genellikle çimento sanayinde kullanıldıklarından yol yapımında kullanılmazlar.

### 2.3.2 Boyut Sınıflandırması

Zeminlerin yük altında davranışlarını etkileyen en önemli faktörlerden biride agregaların büyüklüklerine göre sınıflandırılır. Tablo 2.1'de agregaların büyüklüklerine göre sınıflandırılması gösterilmiştir.

AGREGA CİNSİ	AGREGA ÇAPI (mm)	AASHTO ELEKLERİ	
		GEÇTİĞİ ELEK	KALDIĞI ELEK
KAYA	76,2 KALAN	-----	3"
BALAST	76,2 – 37,50	3"	1½"
KABA AGREGA	37,50 – 4,75	1½"	No:4
İNCE AGREGA	4,75 – 0,075	No:4	No:200
FİLLER	0,075 GEÇEN	No:200	-----

**Tablo 2.1 Agregaların büyüklüklerine göre sınıflandırılması**

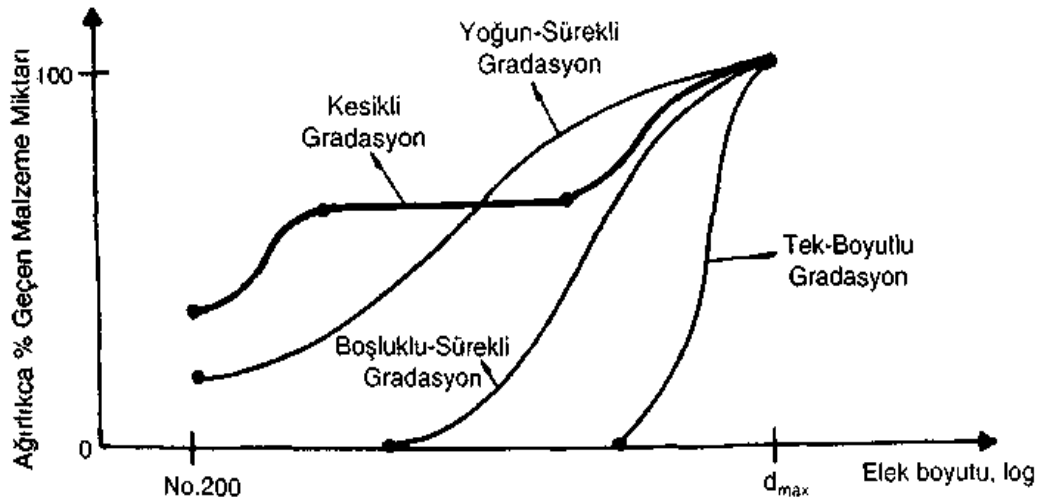
### 2.3.3 Gradasyon Sınıflandırması

Zemindeki agregaların analizlerinin yapılması için zemin numunesi kurutulmuş seri halinde eleklerden geçirilerek yapılır. Elek analizinde elekte kalan miktar ile toplam kuru zemin ağırlığının oranı bulunarak agregaların dağılımı granülometrisi belirlenir. Agrega gradasyonu zeminin stabilite ve işlenebilirlik özelliğini belirler. Genel olarak maksimum boyut 1" (25,4 mm) fazla ise işlenebilirlik ve sıkışma zorlaşır, segregasyon artar, boşluk miktarı azalır, agregaların toplam yüzeyi azalır, yoğunluk ve stabilite artar ve bağlayıcı ihtiyacı azalır.

Agregalar gradasyon yönünden aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

- Kesikli gradasyon
- Yoğun-Sürekli gradasyon
- Boşluklu-Sürekli gradasyon
- Tek-Boyutlu gradasyon

Bu gradasyon tipleri, Şekil 2.2'de görüldüğü gibi, elek analiz grafiğinde çizilirse kolayca ayırt edilebilir ve farklı özelliklere sahiptir.



Şekil 2.2 Agrega Gradasyon Tipleri (Tunç, 2001)

### **2.3.3.1 Yoğun-sürekli gradasyon (yoğun gradasyon veya iyi derecelenmiş)**

Bu tip gradasyon elek analiz grafiğinde sürekli bir eğri gösterir ve minimum boşluk (veya maksimum yoğunluk) ihtiva eder. Zira yoğun bir gradasyonda en kaba malzemeden en ince malzemeye kadar olan agrega boyutları birbirlerinin boşluklarını dolduracak kadar uygun oranlarda olduğundan karışımının yoğunluğu artmaktadır.

### **2.3.3.2 Boşluklu-sürekli gradasyon (açık gradasyon)**

Bu tip gradasyon ince agrega ihtiva etmediğinden dolayı karışımın boşluk oranı yüksektir. Bu nedenle drenaj, filtre, vb. amaçlar ile dona duyuarsız tabakalar için kullanılırlar. Ayrıca düşük standartlı yolların temel tabakasında kullanılabilir. Ancak trafik yükleri altında zamanla sıkışma beklenmelidir. Alt temel ve bağlayıcısız granüler temel tabakalarının iyi dren olmaları için No.100 ve No.200'den geçen kısım az olmalıdır. Bu nedenle, gradasyonun alt kısmı boşluklu olmalı yani ince malzeme hiç veya az olmalıdır.

### **2.3.3.3 Kesikli gradasyon**

Bu tip gradasyon belirli aralıktaki tane çaplarını ihtiva etmediğinden dolayı boşluk miktarı fazladır. Yol inşaatında genel olarak kullanılmamaktadır.

### **2.3.3.4 Tek boyutlu (üniform) gradasyon**

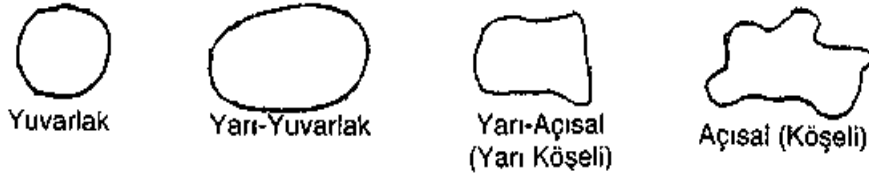
Hemen hemen aynı boyuta sahip agregalardan oluşan bu gradasyon tipi, sathi kaplama ve koruyucu-örtü tabakası gibi düşük standartlı yol kaplamalarında kullanılmaktadır.

### 2.3.4 Biçim Sınıflandırması

Agrega tanelerinin biçimleri yol kaplamalarında kullanılan karışımların

- Sıkışma direnci
- İşlenebilirlik
- Yoğunluk
- Stabilite
- İçsel kilitleme (kenetlenme) ve içsel sürtünme açısı
- Kayma mukavemeti ve CBR özelliklerine etki ederler.

Agrega taneleri biçim olarak Şekil 2.3' de görüldüğü gibi sınıflandırılır.



Şekil 2.3 Agregatane Biçim Sınıflandırılması (2 boyutlu) (Tunç, 2001)

Ayrıca agregataneleri Şekil 2.3'de görülen iki boyutlu biçim sınıflandırılmasına ilaveten üç boyutlu biçim sınıflandırması da yapılır. Bu tip sınıflandırma Şekil 2.4'te görüldüğü gibi yapılır.



Şekil 2.4 Agregatane Biçim Sınıflandırması (3 Boyutlu) (Tunç, 2001)

Yuvarlak biçimli agregaların açısal (köşeli) biçimli agregalara nazaran işlenebilirlik özelliği daha yüksek iken stabilite (deformasyona gösterilen direnç) yönünden açısal biçimli agregalar yuvarlak biçimli agregalara nazaran daha üstündür. Zira açısal biçimli agregatanelerinin temas noktaları sayısı daha çok olduğundan içsel sürtünme açılan ve taneler arasındaki kilitleme (kenetlenme) ve stabilitesi daha fazladır. Aynı ocaktan alınan yuvarlak taneli agregalar ile bu

agregaları kırarak elde edilen açısız taneli agregalar aynı boşluk oranında sıkıştırılırsa daha yüksek CBR ve stabilite değerleri elde edilmektedir.

İşlenebilirlik ve stabilite açısından agrega tane biçimlerinin sahip oldukları bu özelliklerden dolayı daha kolay sıkışabilen ve işlenebilirlik özelliği daha yüksek olan yuvarlak biçimli agregalar beton inşaatlarında sıkışma direnci yüksek ama sıkıştırıldıklarında yüksek stabilite gösteren açısız biçimli agregalar yol kaplamalarında kullanılmalıdır.

Yassı ve ince-uzun daneler beton için işlenebilirliği önemli ölçüde azalttığından ve daha fazla karma suyu ihtiyacı gerektirdiğinden dolayı uygun değildirler. Aynı şekilde bitümlü sıcak karışımların stabilitesinin azalmasına neden olduğundan bu tip agregalar kullanılmalıdır. Ayrıca yassı daneler plak ve ince-uzun taneler kırılgan gibi davranış gösterdiklerinden dolayı yük altında daha kolay kırılarak düşük durabilite göstermekte ve orijinal gradasyonun bozulmasına (digradasyon) neden olmaktadır.

Agrega danelerinin kübikliği ve açısız biçimliliği gerek beton gerekse bitümlü veya bitümsüz kaplamalarda stabiliteye etki eden en önemli husus olması nedeniyle tanelerin sahip olduğu;

- Kırılmışlık yüzdesinin fazlalığı
- Yassılık ve ince-uzunluk indeksinin azlığı

önemli kriterler olarak şartnamelerde kısıtlamalar getirilmiştir.

### **2.3.5 Yüzey Yapısı Sınıflandırması**

Agregaların yüzey yapısı, tanelerin pürüzlülük veya cilalılık durumunu ifade eder. Eğer agrega tanelerinin yüzey pürüzlülüğü fazlaysa işlenebilirlik azalmakta fakat içsel sürtünme açısı, stabilite, kayma mukavemeti ve asfalt ile adezyon kuvveti artmaktadır. Ancak buna karşın agreganın boşluk hacmi, sıkışmaya karşı direnci ve digradasyon gibi olumsuz özellikleri de artmaktadır. Bu nedenle agrega yüzey



yapısı agregadan beklenen özelliklere önemli ölçüde etki etmektedir. Yüzey yapısı, Şekil 2.5' de görüldüğü gibi sınıflandırılır.



**Şekil 2.5 Yüzey Yapısı Sınıflandırması**

Betonun işlenebilirliğin artması ve su ihtiyacının azalması için cilalı yüzeylere sahip dere malzemelerinin kullanılması fakat yüksek kayma mukavemeti, kuvvetli adezyon, yüksek kilitlenme (kenetlenme) özelliğinden ötürü bağlayıcı veya bağlayıcısız üstyapı tabakalarında ise çok pürüzlü yüzeylere sahip kırma taş agregaların kullanılması mutlak bir şarttır.

### **2.3.6 Porozite Sınıflandırması**

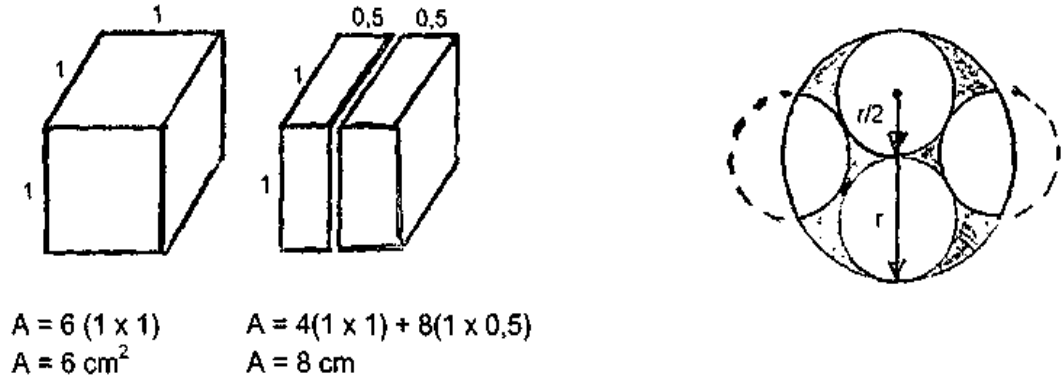
Agrega danelerinin porozitesi (veya su emme yeteneğine sahip boşlukların miktarı) belli miktarda olması gerekir. Yeterli poroziteye sahip agregada daneleri bitümün emilmesine olanak sağlayacağından dolayı agregada ile bağlayıcı film tabakası arasında kuvvetli bir adezyon oluşturarak stabilitenin artmasına ve suyun etkisi ile film tabakasının soyulmasının azalmasına neden olmaktadır. Ancak aşırı poroz agregaların özgül ağırlıklarının az olmasından dolayı yoğunluğunun ve stabilitesinin düşük olmasına neden olmaktadır. Ayrıca gereğinden fazla asfalt kullanımı sıcak havalarda kusma-terleme problemlerini doğurmaktadır. Bu nedenle sıcak bitümlü karışımlarda dere malzemesi, mermer, vb. poroz olmayan veya aşırı poroziteye sahip agregalar kullanılmamalıdır. Porozite, Şekil 2.6'de görüldüğü gibi sınıflandırılır.



Şekil 2.6. Porozite Sınıflandırması

### 2.3.7 Yüzey Alanı ve Boşluk Sınıflandırması

Agrega danelerinin sahip oldukları yüzey alanlarının toplamı ile agregada daneleri arasındaki boşlukların toplamı, bağlayıcısız veya stabilize edilmiş (bağlayıcılı) karışımların tüm özelliklerine doğrudan etki eden önemli faktörlerdir. Toplam yüzey alanı ile toplam boşluk hacmi gradasyon, maksimum dane çapı, dane biçimi, vb. gibi özelliklere bağlıdır. Agregada tane çapı küçüldükçe toplam yüzey alanı ve boşluk hacmi önemli ölçüde artar. Bu husus, Şekil 2.7'de görülmektedir.



Şekil 2.7 Yüzey Alanı ve Tane Çapı- Boşluk Oranı ilişkisi

Toplam boşluk hacminin ve toplam yüzey alanının artması halinde gerekli bağlayıcı ihtiyacı artmakta ama toplam boşluk hacminin artması halinde karışımın yoğunluğu azalmaktadır. Bu nedenle, agreganın maksimum dane çapı arttıkça her ne kadar işlenebilirlik problemi artsa da karışımın yoğunluğunda artış olacak fakat buna karşın gerekli bağlayıcı miktarı azalarak karışımın kohezyonu, stabilitesi ve durabilitesi azalacaktır. Bu nedenlerden ötürü, esnek üstyapı tabakalarında kullanılacak agregaların maksimum dane çapı karışımın bu özelliklerini optimize edecek şekilde seçilmelidir. Bundan dolayı üst tabakalarda

daha ince ama alt tabakalarda daha kaba gradasyonlu agregalar kullanarak karışımdan beklenen özellikler sağlanabilmektedir. Agregalar ile yapılan tüm karışımların (çimento betonu, asfalt betonu veya bağlayıcısız granüler temel tabakası, vb.) stabilitesinin yüksek olması için agregalar daneleri arasındaki boşluğun minimum olması gerekir. Bunu sağlamak için agregalar gradasyonu sürekli olmalıdır.

### 2.3.8 Özgül Ağırlık Sınıflandırması

Karışım hesapları için agregaların özgül ağırlıklarının bilinmesi gerekir.

Şekil 2.8'de görüldüğü gibi, agregalar üç tip hacim içerdiğinden dolayı;

- Zahiri (görünür) özgül ağırlık (SGZ)
- Hacim özgül ağırlığı (SGH) veya kuru özgül ağırlık
- Doymun-kuru yüzey özgül ağırlık (SGDKY)

olmak üzere üç farklı özgül ağırlığa sahiptir.



Şekil 2.8 Agregalar Tanesindeki Hacim ve Ağırlık İlişkisi (Tunç, 2001)

Agregalar taneleri, su absorbe edebilen boşluklar (havayla temas halindeki boşluklar) ile su absorbe edemeyen boşluklar (havayla temas halinde olmayan katı hacminin içindeki boşluklar) içermektedir. Su absorbe edebilen boşluklar suyla dolu değilse (veya hava ile dolu olduklarında) sıfır ağırlığa sahip iken suyla dolu olduklarında ise suyun ağırlığına sahiptirler. Dolayısıyla agregalar daneleri iki tip ağırlık ve üç tip hacim değerine sahiptir. Bundan dolayı agregaların sahip oldukları özgül ağırlıklar aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$SGZ = A / (A-C)$$

$$A / (V_k + V_b)$$

Kuru birim hacim ağırlığı / Katı ve geçirgen olmayan boşlukların hacmi

$$SGH = A / (B - C)$$

$$A / V$$

Kuru birim hacim ağırlığı / Katı ve tüm boşlukların hacmi (Tüm hacim)

$$SGDKY = B / (B - C)$$

$$B / V$$

Doygun - Kuru yüzey ağırlığı / Katı ve tüm boşlukların hacmi (Tüm hacim)

A: Agreganın kuru ağırlığı (Havada tartımı ile)

B: Agreganın doymun-kuru yüzey ağırlığı

C: Agreganın kuru ağırlığı (Suda tartımı ile)

Arşimet prensibine göre, bir cismin havadaki ağırlığı ile su içindeki ağırlığının farkı cismin hacmine eşittir. Dolayısıyla (A-C) agreganın hacmine eşit olacaktır. Yukarıdaki formüllerde (B-C) > (A-C) ve B > A olduğundan dolayı daima SGZ > SGDKY > SGH ilişkisi geçerli olacaktır. Ayrıca özgül ağırlıklar arasında aşağıdaki bağıntılarda mevcuttur.

$$SGDKY = SGH (1 + Absorbsiyon)$$

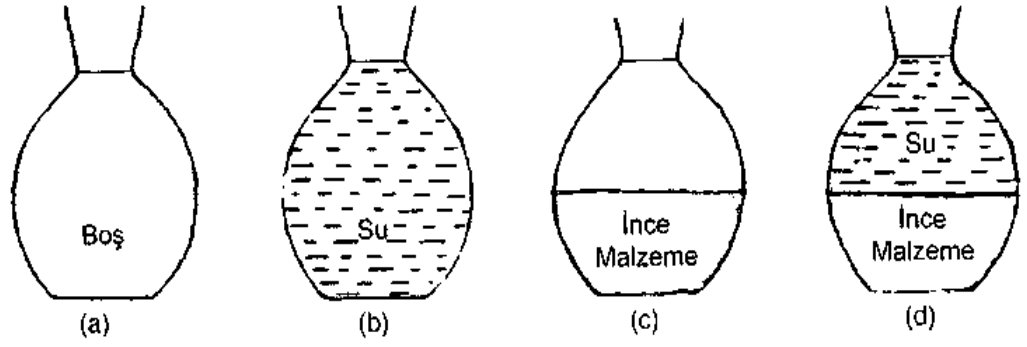
$$SGZ = SGH / [SGH - (SGDKY - 1)]$$

İnce malzemenin özgül ağırlık testi Şekil 2.9'da görüldüğü gibi, yapılan tartımlar sonucunda aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$SG = W / V = (c - a) / [(b - a) - (d - c)]$$

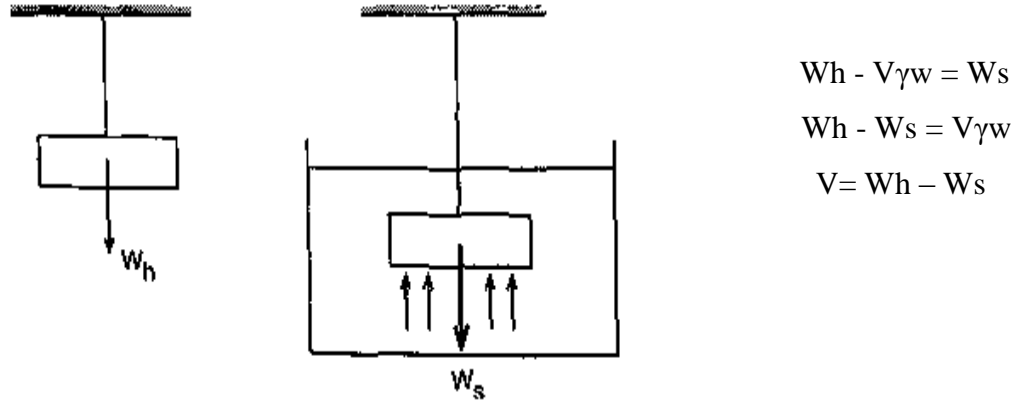
$$(c - a) / [(c - a) - (d - b)]$$

Balon ile ince malzemenin özgül ağırlık testinde SGZ bulunmuş olur. TS 3526 ile ince agregalara ait diğer özgül ağırlıklar tayin edilebilmektedir.



Şekil 2.9 İnce Malzeme Özgül Ağırlık Testi (Balon Metodu)(Tunç, 2001)

Kaba malzemenin özgül ağırlığının tespiti için agrega havada tartıldıktan sonra tel bir sepet içine konarak suya daldırıp tartılır. Eğer suya daldırıldığında su absorbe etmeden hemen tartılabilirse kuru malzemenin sudaki ağırlığı bulunmuş olur. Şekil 2.10'de görüldüğü gibi, tartılan agreganın hacmi aşağıdaki formülle hesaplanabilir.



Şekil 2.10 Kaba Malzemenin Özgül Ağırlık Testi

## 2.4 AGREGANIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Agregaların stabilitesi, durabilitesi ve adezyonu yol kaplama ve katmanlarının tüm özelliklerine doğrudan veya dolaylı olarak etki eder. Bu nedenle agreganın fiziksel özellikleri zeminde gerek stabilite gerekse performansı için çok önemlidir.

### 2.4.1 Stabilité

Agregaların trafik yüklerinden veya zeminin hacim değiştirmesinden dolayı oluşacak deformasyonlara karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Stabilité

- Kayma mukavemeti
- CBR, Esneklik modülü, Yatak katsayısı

ile ölçölüp bulunur.

Eğer agrega bir bağlayıcı ile karışım yapmış ve belirli bir kohezyona sahip iken temel tabakaları gibi  $c=0$  olacağından zeminde bulunan agrega tüm kayma mukavemetini sürtünme tarafından karşılanır. Yol kaplamalarındaki mukavemet ve deformasyon direncinin karşılanması agregaların sürtünme açısıdır. Dolayısıyla agregaların en önemli fiziksel özelliği içsel sürtünme açısıdır. Agregaların içsel sürtünmesi;

- Agregada danelerinin yüzey pürüzlölüğü arttıkça
- Agregada danelerinin açısallığı arttıkça
- Boşluk oranı azaldıkça
- Dane çapı büyüdükçe
- Yoğun-sürekli gradasyon (iyi derecelenmiş) sahip oldukça
- CBR değeri arttıkça
- Agregada danelerinin yassı ve ince-uzun miktarı azaldıkça
- Filler miktarı (No 200 altı) ve Plastisite indeksi (PI) azaldıkça
- Daneler arası kilitlenme direnci büyüdükçe artmaktadır.

Dolayısıyla içsel sürtünme açısına etki eden tüm bu özellikler kaplamanın stabilitesi içinde gereklidir. Fakat agrega danelerinin yüzey pürüzlölüğü ile açısallığı en önemli faktördür. Bu nedenle zeminlerde ve kaplamalarda muhakkak kırma taş (kübik) agrega kullanılmalıdır.

## **2.4.2 Durabilite (Dayanıklılık)**

Agrega danelerinin trafik ve çevre etkilerinin altında aşınmaya karşı direncinin yüksek olması gerekmektedir. Agregada danelerinin durabilitesi kırılma, aşınma ve parçalanmalara karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır.

### **2.4.2.1 Kırılma**

Agregalar sıkıştırma ve trafik yükü altında mekanik etkilerle kırılmaya maruz kalabilirler. Özellikle yol üst kaplamalarında trafik yüküyle daha çok maruz kaldıklarından alt tabaka elemanlarına nazaran daha çok kırılmaya karşı dayanıklı olmalıdırlar.

### **2.4.2.2 Aşınma (digradasyon)**

Yol katmanlarından trafik yüküne direkt maruz kalan yol kaplamalarında agregalarda çok küçük parçalanmalar ufalanmalar meydana gelmektedir. Agregadaki bu ufalanma filler (No 200 altı) dane boyutu olmaktadır. Aşınma ile ince malzeme miktarı artarak agreganın gradasyonu bozularak dren kabiliyeti azalır.

### **2.4.2.3 Parçalanma (disintegrasyon)**

Agregaların mekanik etkilerden çok kimyasal etkilerle parçalanmasıdır. Bunun yanında fiziko etkilerde parçalanmaya sebep verebilir. En önemli etken danelerin emdikleri suyun iklim şartları altında donması sonucunda yaptığı hacimsel genişlemeler sonucunda ilave gerilmeler ve donma-çözülme periyotlarının sıklığı agregada daneleri parçalanmaya maruz bırakırlar. Yol alt katmanlarında ve üst kaplamalarında agreganın minerolojik yapısından dolayı agregada yapıdaki minerallerin su ile etkisiyle killi maddelere dönüşerek ufalanmasına ve parçalanmalara neden olmaktadır.

Agregalardaki durabilite Los Angeles aşınma, Don dayanımı, Darbe ve yüzde 10 ufalanma testleri ile tayin edilebilir.

### **2.4.3 Adezyon (Yapışma)**

Yol kaplamalarında kullanılan tüm malzemeler suyla temas halinde bulunmaktadır. Bitümlü kaplı agrega danelerinin suyun etkisi ile soyulmaması için agrega ile bağlayıcının arasında adezyon (bağ kuvveti) yüksek olması gerekmektedir.

- Asfaltın viskozitesi arttıkça
- Yüzeyin pürüzlülüğü arttıkça
- Porozluk ve absorpsiyon arttıkça
- Yüzey alanı arttıkça
- Karıştırma ısısı arttıkça
- Agreganın nemi azaldıkça
- Agreganın temizliği arttıkça

gibi faktörlere bağlı olarak artar.

## **2.5 ALT YAPI VE ÜST YAPI KATMANLARININ ZEMİN ÖZELLİKLERİ**

Bölüm 2.1’de bahsedildiği üzere yolda oluşan trafik yükünü taşımak ve bu yükü yol yüzeyine dağıtmak için yolun toprak işi sonunda getirilmiş kısmı alt yapı üzerine inşa edilmesi gereken tabakalardan oluşan katmanlar gerekmektedir. Bu katmanlar temel altı alt temel, temel ve yol kaplama tabakalarından oluşmaktadır. Yolun taşıyıcılık görevini tam olarak yapabilmesi için alt yapıda seçme malzeme ile stabilizasyon yapılarak zeminin stabilitesi artırılabilir. Yolun kaplama katmanlarının deformasyonlara karşı dirençli ve maliyeti etkiyen kaplama kalınlıklarının azaltılması içinde üst yapı katmanlarından alt temel katmanının stabilitesinde yüksek olması istenmektedir. Bu bağlamda alt yapıda kullanılacak seçme malzeme ve üst yapıda kullanılan alt temelin özelliklerinin bilinmesi gerekir.



### 2.5.1 Alt Yapıda Seçme Malzeme Özellikleri

Yollarda değişen teknolojik gelişmelere paralel olarak daha kaliteli güvenli ekonomik ve doğal çevre ile uyumlu bir şekilde yapılması için ülkemizde KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü) hazırlanan karayolu teknik şartnamesinde teknolojik uluslararası standartlara AASTHO (Amerikan Karayolları Sınıflandırma Sistemi) uyumlu Avrupa uyum yasalarına göre uyumlu olarak düzenlenmiştir. Yol alt yapısı ve alt temelindeki şartname limitleri karayolu teknik şartnamesinden alınmıştır.

Yol alt yapısında uygun malzeme ile aşağıda belirtilen şartlarda enine ile boyuna eğimlerde, kot ve en kesitlere göre yolda yapılacak yarma ve dolgularda seçme malzeme ile zemin sıkıştırması ve özellikleri irdelenecektir. Zeminlerin sıkıştırılmasında aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

- A. Yol eksenini yarmada ise
- i. Taban kaya ise kaplama alt kotundan 30-50 cm daha fazla kazılarak atılır ve yerine uygun seçme malzeme konularak maksimum kuru birim ağırlık elde edilene kadar sıkıştırılır.
  - ii. Taban kaya değilse ama taban için uygun zeminse kaplama alt kotundan 30-50 cm kadar gevşetilir ve maksimum kuru birim ağırlık elde edilinceye kadar sıkıştırılır.
- B. Yol eksenini dolguda ise
- i. Bitkisel toprak sıyırılır ve atılır
  - ii. Bitkisel toprak altında uygun olmayan malzeme varsa kazılıp atılır ve uygun bir seçme malzeme ile tabakalar halinde doldurulup sıkıştırılır,

Zeminde uygun olmayan malzeme mevcutta varsa kazılıp atılmalıdır. Uygun olmayan zeminler denildiğinde;

- i. Taşıma gücü zayıf zeminler

- ii. Dona hassas zeminler
- iii. Bitkisel ve organik zeminler (kök, bitki artıkları vb.)
- iv. Kömür ve kömür tozu gibi içten yanmalı malzemeler
- v. Suya doymuş hale gelmiş killi, marnlı ve bataklık gibi malzemeler
- vi. Enkaz ve eski beton bloklardan oluşan malzemeler (geri dönüşümü yapılmamış beton molozlar)
- vii. Endüstriyel atık malzemeler
- viii. Donmuş toprak ile suyla kolayca ufalanan malzemeler
- ix. Ağırlıkça %20'den fazla jips kaya tuzu gibi çözülebilen toprak malzemeler
- x. Ayırıştığında kil davranışı gösteren kayaçlar olarak sayılır.

Dolguda kullanılacak malzemeler yukarıda sayılan uygun olmayan malzemelerin dışındaki malzemeler olmalıdır. Dolgunun son tabakasının üstten 20 cm'lik kısmındaki dolgu malzemesi 10 cm den daha fazla dane boyutu içermemelidir. Ayrıca dolguların en üstteki 40-50 cm'lik kısmında Tablo 2.2'de şartları sağlayan CBR değeri min. 10 olan seçme malzeme kullanılmalıdır.

<b>DENEY</b>	<b>ŞARTNAME LİMİTİ</b>	<b>DENEY STANDARTI</b>
0,075 mm'den geçen %	Max. 50	TS 1900 AASHTO T-11
Likit Limit (LL) %	Max. 40	TS 1900 AASHTO T-89
Plastisite İndeksi (PI) %	Max. 15	TS 1900 AASHTO T-90
Yaş (CBR) Esnek Üstyapılar %	Min. 10	TS 1900 AASHTO T-193

**Tablo-2.2 Koruyucu Tabaka Seçme Malzeme Özellikleri (KGM)**

Sıkışmış tabaka kalınlıkları kullanılan malzemeye göre değişmektedir.

- i. Killi malzemeler için 20-25 cm
- ii. Siltli malzemeler için 20-30 cm
- iii. Granüler malzemeler için 20-30 cm
- iv. Kaya dolgular için 25-60 cm

Don etkisi olan bölgelerde zemin kaldırılıp üstyapı tabanı oturacağı seçme malzeme tabakasının Tablo 2.3’de belirtilen özelliklere sahip olması halinde don kabarması ve donma çözülme periyotlarında ortaya çıkan olumsuz etkiler ortadan kaldırılabilecektir.

<b>DENEY</b>	<b>ŞARTNAME LİMİTİ</b>	<b>DENEY STANDARTI</b>
0,075 mm’den geçen %	Max. 12	TS 1900 AASHTO T-11
Likit Limit (LL) %	Max. 25	TS 1900 AASHTO T-89
Plastisite İndeksi (PI) %	Max. 6	TS 1900 AASHTO T-90
Kaba Agregada Su Absorpsiyonu %	Max. 3	TS 3526 ASTM C-127

**Tablo 2.3 Dona Hassas Olmayan Taban Malzemesinin Özellikleri (KGM)**

Zeminlerin sıkıştırma esnasında elde edilmesi gereken sıkışma miktarı Tablo 2.4’de verilen değerlerden az olmamalıdır.

<b>DOLGU</b>	<b>Max. Kuru Birim Ağırlık 1.450-1.700 ton/m<sup>3</sup></b>	<b>Max. Kuru Birim Ağırlık &gt; 1.700 ton/m<sup>3</sup></b>	<b>GRANÜLER ZEMİN</b>	<b>TEST METODU</b>
Üstten 40 cm kısmında min. sıkışma %	100	97	100	STD. PROCTOR
40 cm altında kısmında min. sıkışma %	95	95	95	STD. PROCTOR

**Tablo 2.4 Dolgularda Sıkışma Kriterleri (KGM)**

Sıkıştırılacak zeminlerin laboratuvarında Std. Proctor ile maksimum kuru yoğunluğu tespit edilir. Bu değer maksimum sıkışma kriteri olarak yani sıkıştırılabilecek maksimum yoğunluğu olarak kabul edilir. Arazide sıkıştırılan zeminin ölçülen yoğunluğu ile laboratuvarında aynı zemin için tayin edilen

maksimum yoğunluğun oranı elde edilmiş olunur. Sıkıştırılan zeminlerin sıkışma miktarı tablo 2.4’de verilen değerden az olamaz. Aksi durumda zemin gevşetilir optimum su içeriğine kadar ıslatıldıktan sonra tekrar sıkıştırılmalı ve tekrar kontrol edilmelidir.

## **2.5.2 Üst Yapıda Alt Temel Malzeme Özellikleri**

Alt temel tabakası üst yapı katmanlarının en alt tabakasıdır. Üst yapı katmanlarının en düşük CBR değerine sahip olduğundan iyi dren olabilen granüler malzemelerden yapılır. Alt temel ve granüler temel arasında işlevleri açısından fazla bir fark yoktur. Sıkıştırılmış zemine göre daha fazla gerilme aldıklarından dolayı kaplamaya göre daha düşük stabiliteye sahip fakat sıkıştırılmış zemine göre daha kaliteli ve mukavemetli olarak inşa edilmesi gerekmektedir.

Alt temel tabakasının ana işlevi;

- i. Kaplamadan intikal eden yükleri zemine yaymak
- ii. Deformasyonlara karşı dirençli olmak
- iii. Drenaj
- iv. Zeminin hacim değişikliklerine (şişme büzülme) karşı koymak
- v. Don zararlı etkilerini önlemek
- vi. Üst yapı inşaatının maliyetini düşürmek ve hızlandırmak
- vii. Kaplama inşaatı için düzgün platform oluşturmak
- viii. Uzun dönemli oturmalarda fleksibil bir yapı oluşturmak olarak sayılabilir.

Ancak alt temel veya temel tabakalarından beklenen en önemli fonksiyonlar yüksek stabilite ve yüksek dren kabiliyeti olmalıdır. Bunları sağlamak için tabaka zeminini kompaksiyon ile maksimum kuru birim ağırlığa kadar sıkıştırmak ve sürekli iyi derecelendirilmiş mümkün olduğu ölçüde az ince malzeme içeren yeteri boşluk oranına sahip agrega gradasyonu ile yeterli permabilite sağlanmalıdır.

Alt temel ve temelde bu ana işlevi yerine getirebilmek için

- i. Yüksek stabiliteli (yükü yayma kabiliyeti yüksek ve kalıcı deformasyonlara karşı dirençli)
- ii. Maksimum yoğunlukta sıkışma
- iii. Permabil (geçirgenlik için yeterince boşluğa sahip bir gradasyon)
- iv. Yüksek CBR ve içsel sürtünme açısına sahip agrega
- v. Yoğun gradasyonlu (sürekli iyi derecelenmiş) agrega
- vi. Filler miktarı az olan ve nonplastik agrega
- vii. Kübik ve açısız şekilli ve pürüzlü yüzeylere sahip fakat yassı ve ince-uzun daneler ihtiva etmeyen kırmataş agrega
- viii. Trafik yüklerine ve çevre etkilerine durabil (dayanıklı) agrega
- ix. Don duyarlılığı azolan agrega
- x. İşlenebilirliği yüksek ve az segregasyon olabildiği agrega şartlarını hepsi aynı anda sağlanması gerekmektedir. Görüldüğü gibi alt temel ve temel tabakalarında aranan özellikler doğrudan agrega ile ilgilidir. Alt temelde kullanılacak agregaların fiziksel özellikleri Tablo 2.5’de verilmiştir.

ELEK AÇIKLIĞI mm	ELEK AÇIKLIĞI inç	TİP A % GEÇEN	TİP B % GEÇEN
75	3”	100	
50	2”	---	100
37,5	1 1/2”	85 - 100	80 - 100
25	1”	---	60 - 90
19	3/4”	70 - 100	---
9,5	3/8”	45 - 80	30 - 70
4,75	No 4	30 - 75	25 - 60
2,00	No 10	---	15 - 40
0,425	No 40	10 - 25	10 - 20
0,075	No 200	0 - 12	0 - 12

**Tablo 2.5 Alt temel malzemesi gradasyon limitleri (KGM)**

Karayolları teknik şartnamesinde (KGM) elek analizi gradasyon limitleri üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda bazı kabuller yapılmıştır.

- i. Malzemenin 0,075 mm elekten geçen (filler) kısmı 0,425 mm elekten geçen kısmından 2/3'ünden fazla olmayacaktır.
- ii. Alt temel malzemesi kum-çakıl ocaklarından sağlandığında tüvenan malzemenin (kırılmamış) gradasyonu TİP A gradasyon limitlerine uygun olacaktır. Gradasyonu uymayan malzemeler elenerek gradasyonu ayarlanacaktır.
- iii. Alt temel malzemesi kum-çakıl ve taş ocaklarından kırılarak hazırlanması durumunda malzemenin gradasyonu TİP B gradasyon limitine uyacaktır. Ocaklarda kırılan malzemenin hazırlanması durumunda 4,75 mm elek üzerinde kalan kısmın en az yüzde 50'sinin iki veya daha fazla yüzü kırılmış (kübik) olacaktır. Taş ocağından alt temel malzemesi kırımında yassılık indeksi yüzde 40'dan az olacaktır. Alt temel malzemesinin fiziksel zellikleri Tablo 2.6'da verilmiştir.

DENEY ADI	şARTNAME LİMİTLERİ	DENEY STANDARTI
2 mm elek üstü donmaya dayanımı Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ile kaybı Max. %	20	TS 3655 AASHTO T-104
Aşınma kaybı (Los Angeles) Max. %	50	TS 3694 AASHTO T-96
Likit Limit (LL) Max. %	25	TS 1900 AASHTO T-89
Plastisite İndeksi (PI) Max. %	6	TS 1900 AASHTO T-90
Kil topağı ve dağılabilen tane oranı Max. %	<u>İri mal.</u> <u>İnce mal.</u> 2 2	ASTM C-142
Organik Madde %	1	AASHTO T-194

**Tablo 2.6 Alt temel malzemesinin fiziksel zellikleri (KGM)**

TİP A	Sıkışma Max. %	95	Modifiye Proctor TS 1900 AASHTO T-180
	Optimum su İçeriği %	$W_{opt} \pm 2$	
	Yaş CBR Min. %	Min. 30	-----
TİP B	Sıkışma Max. %	97	Modifiye Proctor TS 1900 AASHTO T-180
	Optimum su İçeriği %	$(W_{opt}-2) - W_{opt}$	
	Yaş CBR Min. %	Min. 50	-----

**Tablo 2.7 Alt temel sıkıştırma kriterleri (KGM)**

### 3. UYGULANACAK METOT

Dolgu teşkili sırasında zemin yeterli derecede sıkıştırılmazsa zamanla kendi ağırlığı ile yüksek dolgularda şev kayması ve özellikle trafik tesiri ile oturmalar meydana gelir. Bu oturmalar yol yüzeyinde gelişi güzel yerlerde ve şekilde çökmeler kasisler oluşturur. Bu oturmalar yolun üst yapısındaki kaplamalarda bozulmaları sebep olur. Bu sebepten dolayı yol alt yapısının dayanımının arttırılması gerekmektedir.

Zeminlerin sıkıştırılması ile yapılan ıslah işlemine **kompaksiyon** denilir. Zemin içindeki hava boşluklarının azalması yani sıkıştırılarak daha yoğun hale getirilmesi sonucunda;

- i. Kalıcı deformasyonlara veya oturmalara karşı daha dirençli olması
- ii. Permabilitesinin azalması
- iii. Taşıma gücünün artması
- iv. Kayma mukavemetinin artması sağlanacaktır.

Kompaksiyon zemin ıslah yöntemleri içerisinde en kolay, en ucuz ve özellikle en etkin olanıdır. Neticesinde zemin yoğunluğu artacağından daneler arasında sürtünme ve kenetlenme artacak zeminin kayma mukavemeti ve taşıma gücü artacaktır. Fakat boşlukların azalmasından dolayı permabilitesi azalacaktır. Trafik yüklerinden yükler altında zeminin deformasyonlara ve oturmalara karşı direncinin artacağı buna mukabil kaplamaların performansında artış olacaktır.

#### 3.1 STABİLİZASYON METOTLARI

Doğal zeminin uygun olmaması halinde yol mühendisi yolun stabilizasyonu için karar vermek durumundadır.

- i. Uygun olmayan zemini olduğu gibi kabul etmek durumunda kalabilir. Bu türden bir kararı yol mühendisi alıyor ise zeminin zayıf özelliği göz önüne alınarak yol kaplama dizaynını buna göre yapmak zorunda kalır. Aşırı kaplama kalınlığı gerektiğinden ekonomik olmaz ve zayıf zeminin oluşturacağı olumsuz etkiler kaplama kalınlığıyla giderilemez.



- ii. Uygun olmayan zemini atıp yerine uygun zemin koymak durumunda kalabilir.  
Kazılan zeminin uygun bir depo yerine taşınması yerine koyulacak uygun zemin için malzeme ocağı bulunması, malzeme ocağından hafriyat yapılması ve işbaşına taşınması ve sıkıştırılması gerekmektedir. İşin zorluğu ve zaman alıcı bir süreç olduğundan yol inşa maliyeti çok büyük olabilmektedir.
- iii. Uygun olmayan zeminin ıslah ve stabilizasyonu yapmak zorunda kalabilir.  
Stabilizasyon teknikleriyle değiştirilen zeminin iyileştirilmesi mümkündür.  
Zeminin stabilizasyon tekniği ile daha stabil bir hale getirilmesi mekanik stabilizasyon olarak adlandırılmıştır.

Zeminin tanımlanmasından sonra problem yaratan özellikleri tam olarak belirlendikten sonra stabilizasyon metodunun hangisinin gerekliliği saplanabilir. Zemin stabilizasyon metotları dünyamız teknolojisinden de yararlanılarak metotlarda gelişmeler kaydedilmiştir. Zemin stabilizasyonları metotları aşağıda sınıflandırılmıştır.

- i. Mekanik Karıştırma
- ii. Kimyasal Stabilizasyon (Çimento, Kireç, Uçucu Kül, vb.)
- iii. Bitüm Stabilizasyonu
- iv. Zemin Enjeksiyonu
- v. Yeni Stabilizasyon Teknikleri

### **3.1.1 Mekanik Stabilizasyon**

Mekanik stabilizasyon iki veya daha fazla farklı zeminin uygun oranlarda karıştırılarak istenilen şartları sağlayan bir zemin haline dönüştürülmesidir. Böylece zeminin trafik yükü altında kalıcı çökme ve kasis yapmayan stabil sağlam bir zemin oluşturulmuş olmaktadır. Zeminin karıştırılması işbaşında yolda,

konkasör plantlerinde veya malzeme ocağında yapılır. Elde edilen zemin yola serilerek iş makineleriyle sıkıştırılır.

Mekanik stabilizasyonla zeminlerde elde edilmesi amaçlanan koşullar:

- i. Gradasyon düzeltilmesi
- ii. Likit Limit (LL) veya Plastisite İndeksi (PI) azaltılması
- iii. Dren kabiliyetinin (Permabilite) arttırılması
- iv. Kayma ve taşıma gücü mukavemetinin arttırılması
- v. Zeminin durabilitesini (CBR) arttırılması
- vi. Hacimsel değişimlere karşı direncin arttırılması
- vii. Yolda oturmaların azaltılması
- viii. Don duyarlılığının azaltılması olarak sayılabilir.

Zeminin kaba kısmının miktarı ve gradasyonu ile ince kısmının plastisitesi, zemin özelliklerinin iyileştirilmesinde ve mekanik stabilizasyonun uygulanmasında en önemli husustur. Zemindeki maksimum dane boyutunun çok büyük olması işlenebilirliğini azaltmakta ve kaba kısmının çok olması segregasyona neden olmaktadır. Zeminde ince malzemenin çok olması halinde yüksek su içeriklerinden dolayı karışımı güçleştirmekte ve kuru halde topaklanmalara neden olarak homojen karışımlar elde edilememektedir. Ayrıca zeminde ince malzemenin fazla olması plastisite ve kohezyonu arttırmaktadır. Uygun olmayan zemine bir başka zemin veya düşük plastiseli bir malzeme karıştırılarak uygun zeminler elde edilebilmesi için karışımın homojen olması gerekmektedir.

Mekanik stabilizasyonda karışım oranları için belli bir sistem ve yöntem bulunmamaktadır. Farklı zemin sınıfları ile değişik oranlarda sahada ve laboratuvar ortamında deneme yapılma ile karıştırılarak, zeminlerin özellikleri incelenerek karar verilmelidir.

### 3.1.2 Agrega Kombinasyonu (Oranlandırma)

Elek analizleri yapılmış ve gradasyonuları belirlenmiş agregalar gruplarının hangi oranlarda karıştırılarak nihai karışım gradasyonu elde edileceği aşağıdaki metotlardan biri ile saptanabilir.

- i. Deneme – Yanılma
- ii. Denklem çözümü
- iii. Grafik

Bu metotlar ile istenilen gradasyonu elde etmek için agregalar gruplarının oranları nasıl tayin edileceği aşağıda deneme-yanılma ve denklem çözümü metotları kısaca izah edilecektir.

#### 3.1.2.1 Deneme – yanılma metodu

Grafik metodu uygulamada en çok kullanılan metot olmasına rağmen çok pratik değildir. Fakat deneme-yanılma için ön yaklaşım sağlayarak daha az hesaplama imkânı sağlamaktadır. Farklı agregalar grupları bir ön kabul yapılarak oranlandırılır ve sonuçlar şartname limitleri içerisinde ise uygun olduğuna karar verilir.

ELEK AÇIKLIĞI inç	MALZEME			ŞARTNAME LİMITLERİ	ŞARTNAME ORT.
	A	B	C		
1”	100	100	100	100	100
3/4”	87	100	100	80 - 100	90
3/8”	45	94	100	60 - 80	70
No 4	33	86	98	40 - 60	50
No 8	17	64	83	25 – 45	35
No 40	9	52	58	10 – 30	20
No 200	1	3	17	2 - 8	5

**Tablo 3.1 Üç farklı agregalar örnek gradasyonu**

Buna göre %60 malzeme A, %25 malzeme B, %15 malzeme C olacağı kabul edilerek nihai gradasyon hesaplanır.

ELEK AÇIKLIĞI I inç	MALZEME			NİHAİ GRADASYON	SONUÇ
	A %60	B %25	C %15		
1"	60,0	25,0	15,0	100	UYGUN
3/4"	52,2	25,0	15,0	92,2	UYGUN
3/8"	27,0	23,5	15,0	65,5	UYGUN
No 4	19,8	21,5	14,7	56,0	UYGUN
No 8	10,2	16,0	12,5	38,7	UYGUN
No 40	5,4	13,0	8,7	27,1	UYGUN
No 200	0,6	0,8	2,6	4,0	UYGUN

**Tablo 3.2 Üç farklı agrega için örnek (deneme-yanılma) gradasyonu**

Nihai gradasyon şartname limitleri içinde kaldığından uygundur. Eğer sonuç uygun olmasaydı ikinci defa oranları değiştirip tekrar nihai gradasyon hesaplayıp şartname limitleri içinde olup olmadığı kontrol edilecektir. Yukarıda seçilen oranları küçük miktarda değiştirerek şartname ortalamasına daha da yaklaştırmak mümkündür. Yani ikinci bir deneme yapılarak nihai gradasyon şartname ortalamasına daha çok yaklaştırmak daha ideal karışım elde edilir.

### 3.1.2.2 Denklem çözümü metodu

Agrega gruplarının gradasyonu esasen çok bilinmeyenli bir denklem kümesidir. Ancak bu çok bilinmeyenli denklem kümesinde bilinmeyen sayısı denklem sayısına eşit olmadığından dolayı çözümü imkansızdır. Fakat uygun iki elekte iki bilinmeyenli iki denklem çözülerek agrega oranı saptanabilir.

ELEK AÇIKLIĞI inç	MALZEME			ŞARTNAME LİMLTLERİ	ŞARTNAME ORT.
	A	B	C		
3/4"	100	100	100	100	100
1/2"	74	100	100	90 - 100	95
3/8"	12	90	100	70 - 90	80
No 4	6	52	100	55 – 73	64
No 8	5	18	98	40 – 55	47,5
No 30	3	4	55	20 – 30	25
No 100	2	3	30	10 – 18	14
No 200	1	2	15	4 - 10	7

**Tablo 3.3 Üç farklı zemin örnek gradasyonu**

3/4" ve 1/2" elekler için iki bilinmeyenli denklem çözülecek olursa

$$100A + 100B + 100C = 100$$

$$\underline{74A + 100B + 100C = 95}$$

26A = 5'den A = 5/26 = 0,19 = %19 bulunur. A malzemesini %20 kabul edersek,

No 4 ve No 8 elekleri için

$$6A + 52B + 100C = 64$$

$$\underline{5A + 18B + 98C = 47,5}$$

$$52B + 100C = 62,8$$

$$\underline{18B + 98C = 46,5}$$

$$5096B + 9800C = 6154$$

$$\underline{1800B + 9800C = 4650}$$

$$3296B = 15042'den B = 0,456 = \%45 \quad C = \%35 \text{ olur.}$$

ELEK AÇIKLIĞI inç	MALZEME			NİHAİ GRADASYON	SONUÇ
	A %20	B %45	C %35		
3/4"	20	45	35	100	UYGUN
1/2"	14,8	45	35	94,8	UYGUN
3/8"	2,4	40,5	35	77,9	UYGUN
No 4	1,2	23,4	35	59,6	UYGUN
No 8	1,0	8,1	34,3	44,4	UYGUN
No 30	0,6	1,8	19,3	21,7	UYGUN
No 100	0,4	1,4	10,5	12,3	UYGUN
No 200	0,2	0,9	5,3	6,4	UYGUN

**Tablo 3.4 Üç farklı zemin için örnek (denklem çözüm) gradasyonu**

### 3.2 ZEMİNLERE YAPILAN DENEYLER

Zeminlere yapılan deneyler kısaca aşağıda anlatılmaktadır.

#### 3.2.1 Los Angeles Aşınma Deneyi

Agregaların durabilitesini yani aşınma direncinin tespiti için bu deney yapılmalıdır. Zira kaplamalarda kullanılacak agregalar kompaksiyon sırasında ve trafik yükleri altında kırılmaya ve aşınmaya karşı dirençli olmalıdır. Aksi takdirde ince malzeme miktarı artarak gradasyonun bozulması neticesi dren kabiliyetinin ve don direncinin azalması gibi problemler doğuracaktır.

#### 3.2.2 Don Dayanıklılık Deneyi

Agregalar donma-çözülme etkileri ile ufalanıp parçalanmamalıdır. Bunun için genellikle sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) çözeltisi içinde agreganın ufalanma miktarı ölçülerek don dayanımı tayin edilmelidir.

### **3.2.3 Yassılık ve İnce-Uzun İndeksleri Tayin Deneyi**

Agrega danelerinin şekil olarak yassı ve ince-uzun olmaması veya sınırlı miktarda olması gerekir. Bu nedenle, yassı ve ince-uzun dane miktarının belirtilen miktardan daha az olup olmadığı bu deneyle tespit edilir.

### **3.2.4 Soyulma Deneyi**

Suyun etkisi ile asfalt flim tabakası agregadan soyulursa karışım kohezyonu ve stabilitesi azalır. Bu nedenle, agregaların soyulmaya karşı dirençleri bu deneyle tespit edilir.

### **3.2.5 Yapışma Deneyi**

Sathi kaplama agregaları için agrega-bitüm adezyonunun suyun etkisiyle azalmasını tespit etmek için yapışma deneyi yapılır. Bu deney, soyulma direnci hakkında da bir fikir verebilmektedir.

### **3.2.6 Cilalanma Deneyi**

Kaplama tabakalarında kullanılacak agreganın trafiğin aşındırma etkisi ile oluşacak cilalanmaya karşı direncini tespit etmek amacıyla bu deney yapılır. Cilalama direnci düşük agregaların zamanla düşük sürtünme kuvvetine veya kayma direncine sahip satırlar oluşturacağından dolayı kaplamanın sürüş emniyeti de azalacaktır.

### **3.2.7 Kırılmışlık Yüzdesi Deneyi**

Dere malzemelerinin kırılması ile elde edilecek agregaların gerçek anlamda kırılmış olması için agreganın en az iki yüzeyinin kırılmış olması gerekir. Bu deney dere malzemelerinden kırılarak elde edilen agregaların kırılmış yüzeylerinin ağırlıkça kırılmışlık yüzdesini tayin etmek için yapılmalıdır.

### **3.2.8 Agregada Darbe ve Kırılma Direnci Deneyi**

Agregaların her ne kadar Los Angeles deneyi ile aşınma dirençleri hakkında yeterli bir bilgi edinilse de BS 812 deneyi agregaların darbelere ve kırılmalara karşı gösterdiği direnci belirlemektedir. Ayrıca bu deney ile ufalanma dirençleri yüzde 10 ufalanma değeri ile belirlenebilmektedir.

### **3.2.9 Agregada İçindeki Kil Topakları ve Ufalanabilir Danelerin Tespiti Deneyi**

Agreganın ince kısmının non-plastik özellikte olması istenir. Bu nedenle ince agregada plastikliğı artırıcı maddeler olan kil topakları ve kolay ufalanabilir danelerin miktarı bu deneyle tespit edilmelidir.

### **3.2.10 Elek Analizi Deneyi**

Alınacak numuneler ile bir elek seti seçilir ve kabadan inceye doğru üstüste konulur. Agregada numunesi en üstteki eleğe konulup elenir ve herbir elek üstünde kalan miktar tartılarak yüzde geçen miktarı hesaplanır. Böylece agregada danelerinin boyut dağılımı bu deneyle saptanmaktadır.

### **3.2.11 Özgül Ağırlık Deneyi**

Karışım hesapları ve agreganın fiziksel özelliklerini belirlemek için bu deney yapılır.

### **3.2.12 Su Absorbsiyon Deneyi**

Agreganın porozluğunun tayini ve bitümlü karışımların hesabı için bu deney yapılmaktadır.



### 3.2.13 Sıkıştırma Deneyi (Proctor Testi)

Yol gövdesinin teşkili sırasında sıkıştırmanın kontrolü başka bir deyişle yapılan sıkıştırmanın yeterli olup olmadığı zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı ile yapılan kıyaslama ile bulunur. Zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı Proctor deneyi ile bulunur. Sıkıştırılan zemin numunesinin hacmi, ağırlığı ve kalıptaki zeminden alınan numunenin kurutulması ile zeminin su muhtevası yardımı ile kuru birim hacim ağırlığı tayin edilir.

### 3.2.14 CBR Taşıma Gücü Deneyi

Kaplamaların kalınlığına etki eden en önemli hususlardan biri zeminlerin mukavemeti (dayanım ve taşıma gücü) özelliğidir. Kaplama vasıtası ile zemine intikal eden trafik yüklerinin zeminde herhangi bir deformasyon yaratmaması gerekir. Zeminlerin mukavemeti yol üst yapısının performansını belirlediği için belirli bir değerden az olmamalı ve aşırı değişim göstermemelidir. Zeminlere yapılan CBR testi esnek kaplamaların temeli olan zeminlerin ve esnek kaplamayı oluşturan bağlayıcısız granüler temel ve alt temel tabakalarının taşıma gücünü ölçmede dünyada en yaygın olarak kullanılan bir test metodudur. Esasen CBR zeminin taşınmasından ziyade yük karşısında deformasyona karşı gösterdiği direnç yani stabilite değerleri göstermektedir.

- i. CBR değeri 0-3 arasında olan zeminler - çok zayıf zeminler
- ii. CBR değeri 3-7 arasında olan zeminler – az zayıf veya orta zeminler
- iii. CBR değeri Min. 10 olan zeminler – sağlam zeminler olarak kabul edilir.

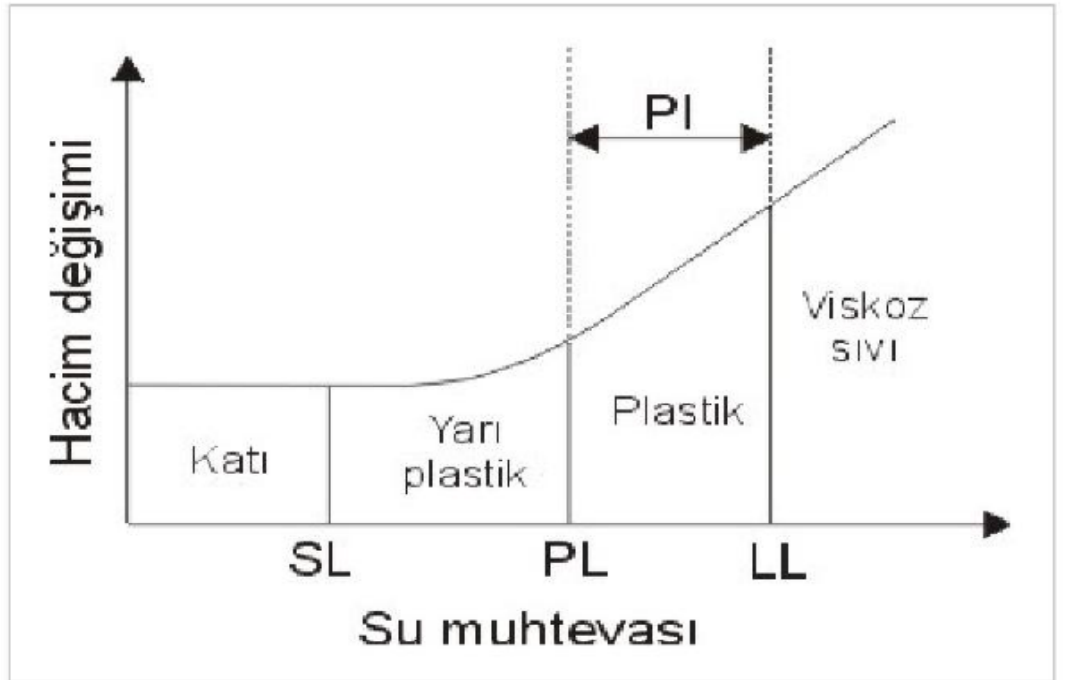
Yol dolgularının en üstteki 30-50 cm'lik kısmında minimum CBR değeri 10 olma şartı bu nedenle konulmuştur.

### 3.2.15 Likit Limit Deneyi (LL)

Zeminin No 40 elekten geçen kısmına uygulanan ve fiziki değişikliklerin oluştuğu su muhtevası değerlerine kıvam limitleri denir. Şekil 3.1 'de zemin kıvam durumları gösterilmiştir. Zeminin likit halden plastik hale geçtiği andaki su muhtevasıdır. Likit limiti, zeminin kendi ağırlığı altında aktığı minimum su muhtevası olarak tanımlamak da mümkündür.

### 3.2.16 Plastisite İndeksi Deneyi (PI)

Plastik limit zeminin plastik durumdan yarı-katı duruma geçtiği andaki minimum su muhtevasıdır. Plastisite indeksi zemin harcının inceliğini gösterir. İri taneli bir zemin ya da içinde pek az miktarda kil bulunan ince taneli bir zemin için su muhtevasının plastik limitten sonra biraz artışı kayma direncinin kolaylıkla yok olmasına sebep olur. Bu durum plastik limit ile likit limitin sayısal değerleri arasındaki farkın küçük olduğunu gösterir. Platisite indeksi yüksek olan zeminlerin alt temel ve temel tabakası olarak elverışsiz olduklarını göstermiştir.



Şekil 3.1 Zemin Kıvam Durumları

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Geri dönüştürülmüş beton molozların İZTOP (İzmit Toptancılar Sitesi) karkas çerçeve iskelet inşaatından elde edilmiştir. İnşaatı kullanılan beton malzemesi hazır beton tesislerinde üretilmiştir. Üretilen hazır beton malzemesinde kullanılan agregalar Kocaeli ilindeki taş ocaklarından konkasörde kırılarak elde edilmiştir.

Deneylede kullanılan beton molozları 120 cm rotorlu darbeli ve kırıcı mobil konkasör saatte 240 ton kapasitelidir. Beton molozlarının elde edildiği mobil konkasör tesisi kullanılan agreganın üretimi Şekil 4.1.'de görülen konkasör tesisinde gerçekleştirilmektedir. Konkasörde kırılan beton molozları stok sahasında depolanmaktadır.



Şekil 4.1 Mobil Konkasör Tesisi

#### 4.1 BETON MOLOZ MALZEMEDE YAPILAN DENEYLER

Malzemenin depolama sırasında segregasyona uğraması nedeni ile stoktan numune almak çok güçtür. Bu nedenle numune yığının çeşitli yerlerinden aynalar açılarak alınır. Numune aynanın yüzeyi boyunca alınmalıdır. Bu arada, tabana yakın olan malzemenin, ayrışma olayının etkisi ile yığın içindeki malzemeden daha iri olacağı dikkate alınmalıdır. Ayrıca numune alınması sırasında ayrışmanın olmamasına da özen gösterilmelidir. Beton moloz numunesinin stok sahasından numune alınması Şekil 4.2.'de görülmektedir.



Şekil 4.2 Stok Sahası

Stok sahasından alınan numune üzerinde yol alt yapısında zemin ıslahında kullanılan seçme malzeme ve üst yapısı katmanlarından olan alt temel tabakasında kullanılabilirliğinin değerlendirmesi yapılacaktır. Bu kapsamda numune üzerinde Elek analizi, seçme malzeme katmanı için standart proctor sıkışma deneyi, alt temel katmanı

için modifiye proctor sıkıştırma deneyi, likit limit deneyi (LL), plastite indeksi deneyi (PI), Kaliforniya taşıma oranı deneyi (CBR) seçme malzeme katmanı ve alt temel katmanı için ayrı ayrı yapılacaktır. Beton moloz numunesi üzerinde yapılan deneylerin sonuçları ile Bölüm 2.5.1 ve 2.5.2 bahsedilen kriterlerle karşılaştırılarak yol katmanlarında kullanılabilirliği değerlendirilecektir.

#### **4.1.1 Yol Yapımında Beton Molozu Malzemesinin Sınıfı**

Sınıflandırmaya esas alınan deneyler dane boyutu dağılımı (Elek Analizi), Likit limit (LL) ve Plastik limittir. Bu sınıflandırma düzeni çakıl, iri kum, ince kum, silt ve kil olarak tanımlanmaktadır.

- i. Çakıl; 75 mm elekten geçen ve 2,00 mm elekten kalan malzemedir.
- ii. İri Kum; 2,00 mm elekten geçen ve 0,425 mm elekten kalan malzemedir.
- iii. İnce Kum; 0,425 mm elekten geçen ve 0,075 mm elekten kalan malzemedir.
- iv. Silt; 0,075 mm - 0,002 mm'den daha küçük plastisite indeksi 10 veya daha az olan malzemedir.
- v. Kil; 0,002 mm'den daha küçük ve plastisite indeksi 10'dan daha fazla olan malzemedir.

Beton molozları üzerinde yapılan elek analizi ve sınıflandırması Tablo 4.1'de verilmiştir.

Beton moloz malzemesi AASTO M-145 göre tanımı iyi derecelenmiş çakıl, çakıl-kum-silt karışımı olarak belirlenmiştir. Malzemenin sınıfı A-1-a taş kırıntıları çakıl ve kum olarak bulunmuştur.

Beton molozu malzemenin yapılan deneyler sonucunda non-plastik olduğu tesbit edilmiştir.

Elekt Açıklığı		Her Elekt Üzerinde Kalan (gr)	KALAN (%)	GEÇEN (%)	Düzeltilmiş Geçen (%)
mm	İnç				
75	3"	0	0.0	100.0	100.0
63.5	2 1/2"	0	0.0	100.0	100.0
50	2"	0	0.0	100.0	100.0
37.5	1 1/2"	222	9.4	90.6	90.6
25.4	1"	331	14.0	86.0	86.0
19	3/4"	424	18.0	82.0	82.0
9.5	3/8"	825	34.9	65.1	65.1
4.75	No.4	1222	51.7	48.3	48.3
2	No.10	1596	67.7	32.3	32.3
0.425	No.40	2034	86.1	13.9	13.9
0.075	No.200	2231.5	94.5	5.5	5.5
Kuru Numune Ağırlığı			2361.5		

ELEK ANALİZİ GRAFİĞİ			
Düzeltilmiş 19 Üstü Kalan (%) Malzeme :	18.0		
75mm Kalan (%)	0.0		
D <sub>60</sub> = 7.697	$C_u = (D_{60} / D_{10})$ 40.51		
D <sub>30</sub> = 1.648	$C_c = D_{30}^2 / (D_{60} \cdot D_{10})$ 1.80		
D <sub>10</sub> = 0.190			
LL (%)	N. P.	USCS SINIFI	GW GM
PL (%)		TANIMI	İyi derecelenmiş çakıl, çakıl-kum-silt karışımı
PI (%)			
AASHTO M-145 SINIFI	A - 1 - a ( Taş kırntılan çakıl ve kum )		
GRUP İNDEKSİ	0.00		
Deneyi Yapan Yavuz Selim SATIROĞLU İnç. Müh.		Onaylayan Yavuz ABUT İnç. Yok. Müh. Lab. Şefi	

KOCAELİ BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI  
Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Asfalt Şantiyesi İçin Karadenizliiler Mah. Çarşıbaşı Cad. (Bölükler Yolu) İzmit/KOCAELİ  
Ayrıntılı Bilgi İçin İrtibat: Tel : 0 (262) 322 65 02 - 143

Tablo 4.1 Dolgu Elekt Analizi Deneyi ve Sınıflandırma

#### 4.1.2 Likit Limit Deneyi

Stok sahasından alınan numuneler 110 derece sıcaklıktaki fırında kurutulup dane şekli değişmeden lastik bir tokmakla ezilir. Malzeme iri ve ince daneleri ayırmak için 4,75 mm elekten elenir. Elekten geçen ince malzemeden yeteri miktarda alınarak 0,425 mm elekten geçen malzemeden 100 gr kadar alınır. Porselen potanın içinde 10-20 cc kadar su damlalık yardımı ile malzemeye ilave edilir. Spatula yardımı ile alttan üste doğru hareketle malzeme karıştırılır. Karıştırma işleme 5 ilâ 10 dakikalık bir zamanda yapılmalıdır.

Malzememiz zemin sınıflandırmasında siltli karışım olduğu tespiti yapılmış olduğundan deney çamuru rutubete yaklaşık olarak 4 saat yatırılması gerekmektedir. Cassagrande aletine hamur serilir ve darbeye başlanılır, darbe sayıları farklı üç deneme ile deney tamamlanır. Her denemede malzeme daha fazla sulandırılarak deney gerçekleştirilir. Birinci denemede 25-35 darbe, ikinci denemede 20-30, üçüncü denemede 15-25 darbe aralıklarıyla her birinde kapanacak kıvamda numuneler elde edilmiş olunur. Şekil 4.3

Beton molozlarından elde edilen malzeme çamuru siltli olduğundan dolayı deney yapmakta çok zorluk yaşanmıştır. Bu tür malzemelerde kohezyon az olduğundan kapanmasını 25 darbeden daha fazla bir darbeye temin etmek mümkün olmamıştır. Bu durumlardaki zeminler için likit limiti plastik olmadığı non-plastik olduğu deneyler sonucu tespit edilmiştir.

PI	PLASTİSİTE DERECEŚİ
0-5	Plastik değil (non-plastik NP)
5-15	Orta dereceli plastik
15-40	Plastik
40'dan fazla	Çok Plastik

**Tablo 4.2 Zeminlerin Plastisite Dereceleri**





**Şekil 4.3 Cassagrende aleti (Likit Limit Deneyi)**

#### **4.1.3 Elek Analizi Deneyi**

Bu deney metodu kare delikli elekler kullanılarak bir malzemenin 0,075 mm'den daha büyük danelerin dane boyutu dağılımı elek analizi deneyi ile saptanır. Elekler AASHTO M-92'ye uygun eleme işlemi sırasında malzeme kaybına neden olmayacak şekilde çerçevelere geçirilmiş 75 mm, 50 mm, 37.5 mm, 25 mm, 19 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.0 mm, 0.425 mm, 0.075 mm açıklığa sahip, elekler içeren elek serisidir.

4.75 mm elek üzerinde kalan ve yaş olarak hazırlanan numune 110 derece sıcaklıkta fırında kurutulan iri malzeme 75 mm, 50 mm, 37.5 mm, 25 mm, 19 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, eleklerden elenir. Her elek üzerinde kalan malzeme ağırlığı deney kartına kaydedilir.



Elek analizi için 4.75 mm'den geçen ince kısmın kuru ağırlığı bilinmelidir. Bunun için ince malzeme 110 derece sıcaklıktaki fırında kurutulur. Kurutulan ince malzeme oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra 2.0 mm, 0.425 mm, 0.075 mm den eleklerden elenir.

Bölüm 2.5.2'de bahsedildiği üzere beton moloz malzemesi Tip B göre 75 mm, 50 mm, 37.5 mm, 25 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.0 mm, 0.425 mm, 0.075 mm açıklığa sahip, elekler içeren elek serisinde elek analizi yapılmıştır. Tablo 4.3'de gösterilmiştir.



**Resim 4.4 Beton Moloz Elek analiz Agregaları**



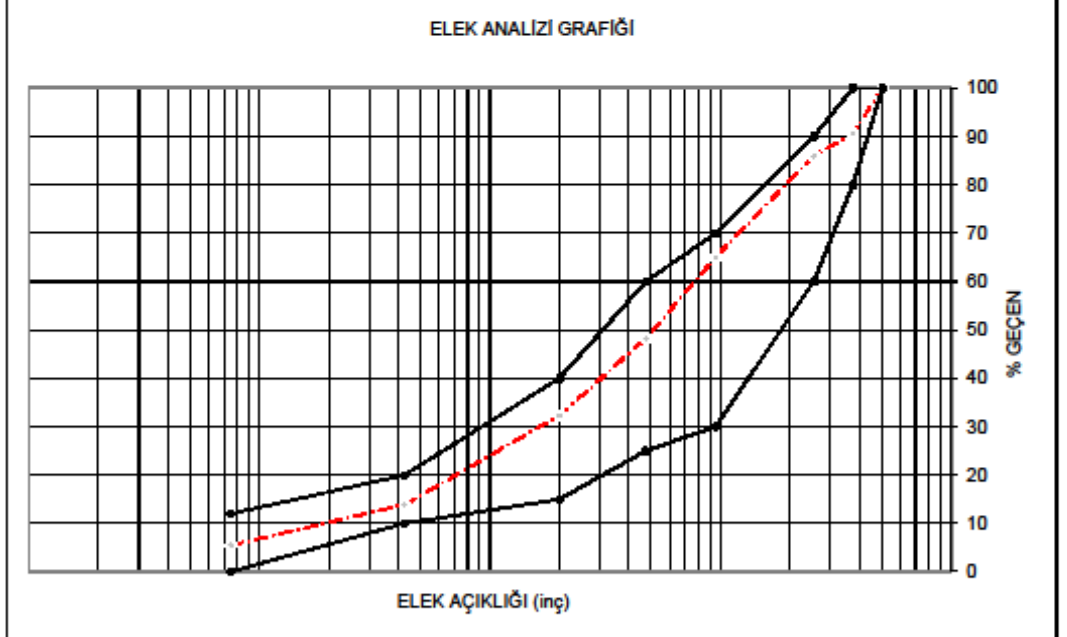
KOCAELİ BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ  
FEN İŞLERİ DAİRE BAŞKANLIĞI  
ARAŞTIRMA LABORATUVARI

ALT TEMEL (TİP B)  
TS 1900

Ref. No. : AGR 07  
Tarih : 08.05.2013  
Plant : İztop Karkas İnş. Beton Molozu  
Deney No :  
Alındığı Yer (km) : İzmit  
Firma : Yavuz Selim SATIROĞLU -TEZ-

ELEK AÇIKLIĞI		Her Elek Üzerinde Kalan (Gr)	Her Elek Üzerinde Kalan (%)	Toplam Geçen (%)	Mrk.Lab.Kar. Dizayını (%) Geçen	Tolerans Limitleri (%) Geçen	Şartname Limitleri % Geçen
mm	inç						
50.4	2 "	0	0.0	100.0			100
37.5	1 1/2 "	222	9.4	90.6			80-100
25.4	1"	331	14.0	86.0			60-90
9.52	3/8"	825	34.9	65.1			30-70
4.76	No.4	1222	51.7	48.3			25-60
2.0	No.10	1598	67.7	32.3			15-40
0.425	No.40	2034	86.1	13.9			10-20
0.075	No.200	2231.5	94.5	5.5			0-12

Kuru Numune Ağırlığı 2361.5



Deneyi Yapan  
Yavuz Selim SATIROĞLU  
İnş. Müh.

Onaylayan  
Yavuz ABUT  
İnş. Yük. Müh.  
Lab. Şefi

KOCAELİ BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI  
Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Asfalt Şantiyesi İçİ Karadenizliler Mah. Çarşıbaşı Cad. (Solaklar Yolu) İzmit/KOCAELİ

Tablo 4.3 Alt Temel Elek Analizi (Tip B)

#### 4.1.4 Sıkıştırma Deneyi (Proctor Testi)

Zeminlerin kuru birim ağırlıkları ve su içeriği ilişkisinin bulunmasında amaç zeminin belirli bir sıkıştırma enerjisinde maksimum kuru birim ağırlığını ve optimum su içeriğini bulmaktır.

Beton moloz malzemede uygulanan standart ve modifiye proctor testlerindeki özellikler aşağıdaki Tablo 4.4’de verilmiştir.

<b>DENEY METODU</b>	<b>STANDART PROCTOR</b>	<b>MODİFİYE PROCTOR</b>
Kalıp çapı - mm	101,6	152,4
Yükseklik - mm	116,4	116,4
Hacim - cm <sup>3</sup>	944	2.124
Tokmak ağırlığı - kg	2,49	4,54
Düşüş yüksekliği - mm	305	457
Çapı - mm	51	51
Tabaka sayısı	3	5
Malzeme maksimum dane boyutu - mm	19	19
Sıkıştırma enerjisi darbe sayısı	25	56
Enerji – Nm/m <sup>3</sup>	590.000	2.700.000

**Tablo 4.4 Proctor Deney Özellikleri**

Deneyde uygulanacak malzeme 110 derece fırında kurutulur. Agreganın esas yapısı bozulmadan malzemenin içindeki iri daneler lastik bir tokmakla ufalanır. Malzeme 19 mm elekten elenir. Eğer 19 mm elekte kalan malzeme yüzde 10’dan fazla ve yüzde 30’dan az ise ikame yapılır. Tablo 4.1’de görüldüğü üzere deneyde kullanılan beton molozu elek analizindeki değer yüzde 18 dir. Bu doğrultuda malzememize ikame uygulamamız gerekmektedir. 19 mm elekte kalan miktar kadar 19 mm – 4,75 mm elek arasında kalan aynı boyutta malzeme ilave edilerek ikame yapılır.

Sıkıştırılan malzeme kalıptan çıkarılır ve malzemenin tümünü temsil edecek şekilde kalıp ortasından 300 gr – 500 gr arasında rutubet numunesi alınır. Rutubet numunesi 110 derece fırında 24 saat kurutulur. Sıkıştırma kabından çıkan malzeme karıştırma kabına konularak malzemeye uygun arttırmalarla su katılarak deney yenilenir. Yapmış olduğumuz standart proctor deneyinde 5 farklı rutubet ortamında, modifiye proctor deneyinde 4 farklı rutubet ortamında sıkıştırma deneyi yapılmıştır.

Standart proctor deney sonucunda malzemenin kuru birim ağırlığı  $1,701 \text{ gr/cm}^3$  ve optimum su içeriği yüzde 15 olarak tespit edilmiştir.

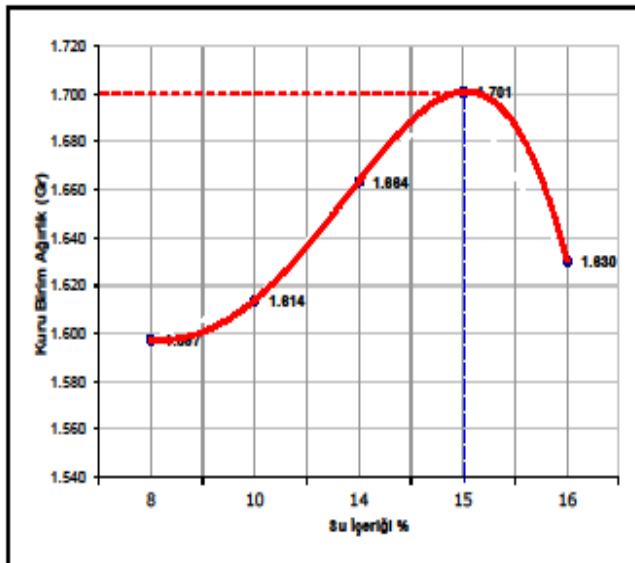
Modifiye proctor deney sonucunda malzemenin kuru birim ağırlığı  $1,945 \text{ gr/cm}^3$  ve optimum su içeriği yüzde 11,82 olarak tespit edilmiştir.

**STANDART PROCTOR**

AASHTO T - 99

Ref.No. : AGR 07	: Beton Molozu	Tarih	: 09.05.2013
Lab.No.	:	Yer: IZTOP Betonarme Karkas İnşaat Beton Molozu	
Renk	: Gri	İkameli <input checked="" type="checkbox"/>	İkamesiz <input type="checkbox"/>
Firma	: Yavuz Selim SATIROĞLU	Taş Ocağı	: Konkosörden Çıkan Malzeme

Compaction Energy Kompaksiyon Enerjisi	:	Hammer Tokmak	: 2.5	Drop Düşüş	:	Layer Tabaka	3	Blows Darbe	25	Mold Kalıp	944
Weighings / Tartılar (gr)	Test No / Deney No:	1	2	3	4	5					
Mould + Wet Sample / Kalıp + Yaş Numune	A	5056.5	5097	5208.5	5265	5201					
Mould / Kalıp	B	3420.5	3420.5	3420.5	3420.5	3420.5					
Water Content Determination / Su İçeriği Tayini											
Container No / Kap No		1	2	3	4	5					
Container + Wet Sample / Kap+Yaş Numune	C	345	383.5	378	347.5	343					
Container + Dry Sample / Kap + Kuru Numune	D	318	348.5	332	302.50	296.5					
Container / Kap	E	0	0	0	0	0					
Water Content / Su İçeriği $W= 100(C-D) / (D-E)$	%	8	10	14	15	16					
Density Calculations / Birim Ağırlık Hesapları											
Bulk Density / Yaş Birim Ağırlık $g = (A-B) / 2124$	g/cm <sup>3</sup>	1.733	1.776	1.894	1.954	1.886					
Dry Density / Kuru Birim Ağırlık $g_{dmax} = 100g / (100+W)$	g/cm <sup>3</sup>	1.597	1.614	1.664	1.701	1.630					



Test Results / Deney Sonuçları

Max. Dry Density  
Maks Kuru Birim Ağırlık  $g_{dmax} : 1.701 \text{ gr/cm}^3$

Opt. Water Content  
Opt. Su İçeriği =  $W_{opt} : 15 \%$

Deneyi Yapan  
Yavuz Selim SATIROĞLU  
İnş. Müh.

Kontrol Eden  
Yavuz ABUT  
İnş. Yük. Müh.

**Tablo 4.5 Standart Proctor Deney Sonuçları**



**Şekil 4.5 Standart proctor deneyi**

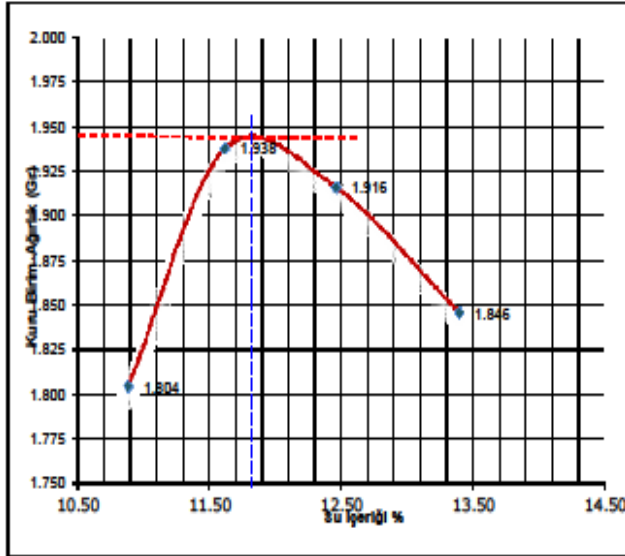


**Şekil 4.6 Standart proctor numunesi**



Ref.No. : AGR 07	: Beton Molozu	Tarih	: 09.05.2013
Lab.No.	:	Yer: İztop Karkas İnş. Beton Molozu	
Renk	: Gri	İkameli <input checked="" type="checkbox"/>	İkamesiz <input type="checkbox"/>
Firma	: Yavuz Selim SATIROĞLU -TEZ-	Taş Ocağı	: Konkosten Çıkan Malzeme

Compaction Energy Kompaksiyon Enerjisi	:	Hammer Tokmak	: 4.54	Drop Düşüş	: 457	Layer Tabaka	5	Blows Darbe	56	Mold Kalıp	2,124
Weighings / Tartılar (gr)		Test No / Deney No:		1	2	3	4	5			
Mould + Wet Sample / Kalıp + Yaş Numune		A		8727	9072	9054	8923				
Mould / Kalıp		B		4478	4478	4478	4478				
Water Content Determination / Su İçerdiği Tayini											
Container No / Kap No				1	2	3	4	5			
Container + Wet Sample / Kap+Yaş Numune		C		321	331.5	343	334.5				
Container + Dry Sample / Kap + Kuru Numune		D		289.5	297	305	295				
Container / Kap		E		0	0	0					
Water Content / Su İçerdiği $W = 100(C-D) / (D-E)$		%		10.9	11.6	12.5	13.4				
Density Calculations / Birim Ağırlık Hesapları											
Bulk Density / Yaş Birim Ağırlık $g = (A-B) / 2124$		$g/cm^3$		2.000	2.163	2.154	2.093				
Dry Density / Kuru Birim Ağırlık $g_{dmax} = 100g / (100+W)$		$g/cm^3$		1.804	1.938	1.916	1.846				



Test Results / Deney Sonuçları

Max. Dry Density  
Maks. Kuru Birim Ağı.  $g_{dmax} : 1,945 \text{ gr/cm}^3$

Opt. Water Content  
Opt. Su İçerdiği  $= W_{opt} : 11.82 \%$

Deneyi Yapan  
Yavuz Selim SATIROĞLU  
İnş. Müh.

Onaylayan  
Yavuz ABUT  
İnş. Yük. Müh.  
Lab. Şefi

Tablo 4.6 Modifiye Proctor Deney Sonuçları



**Şekil 4.7 Modifiye proctor deneyi**

#### **4.1.5 CBR Taşıma Gücü Deneyi**

Kaliforniya Taşıma oranı (CBR) bir zeminin dikkatle kontrol edilen yoğunluk ve rutubet şartları altında daneler arasında kayma direncinin bir ölçüsüdür. Zeminin yapısı, su içeriği ve kuru birim ağırlığı CBR değerini etkileyen en önemli faktörlerdendir.

Standart proctor ve modifiye proctor deneylerinden elde edilen optimum su içeriği ve maksimum kuru birim ağırlığı bulunan malzemedен, optimum su içeriğinde en az iki tane 6000 gr ağırlığında iki numune hazırlanır. CBR kalıbında sıkıştırılacak olan numune optimum rutubet tolerans sınırları içinde bir su içeriğinde sıkıştırılır.



<b>DENEY METODU</b>	<b>STANDART PROCTOR</b>	<b>MODİFİYE PROCTOR</b>
Kalıp çapı - mm	152,4	152,4
Yükseklik - mm	116,4	116,4
Hacim - cm <sup>3</sup>	2.124	2.124
Tokmak ağırlığı - kg	2,49	4,54
Düşüş yüksekliği - mm	305	457
Çapı - mm	51	51
Tabaka sayısı	3	5
Malzeme maksimum dane boyutu - mm	19	19
Sıkıştırma enerjisi darbe sayısı	56	56
Enerji – Nm/m <sup>3</sup>	590.000	2.700.000

**Tablo 4.7 CBR Deney Özellikleri**

Sıkıştırılmış numune kalıp ters çevrilerek kalıp çapında kaba filtre kâğıdı konan delikli taban plakası yerleştirilir. Hazırlanan numune 5 gün suda bekletilir. Numune üzerine tahmini yük değerine göre ağırlık konur, bu ağırlık 4,5 kilodan az olmamalıdır. Üzerine gösterge takılmış olan üç ayaklı sıfırlandıktan sonra şişme plakası çubuğu ayarlanır. Suda bekleme sırasında 24 saatte bir kabarma okuması alınır ve şişme yüzdesi hesaplanır. Sudan çıkarılan numune dren amaçlı 15 dakika eğik vaziyette bekletilir. Numune penetrasyon pistonunda yüke (standart proctorda 0,02 kN artımlar modifiye proctorda 0,4 kN artımlar) tabi tutulur, 2.50 mm ve 5.0 mm penetrasyonuna karşı gelen yükler okunur.

Standart proctor CBR deney sonucunda malzemenin kuru birim ağırlığı 1,706 gr/cm<sup>3</sup> ve optimum su içeriği yüzde 15 şişme emmesi yüzdesi sıfır CBR yüzdesi 84,32 olarak tespit edilmiştir.

Modifiye proctor CBR deney sonucunda malzemenin kuru birim ağırlığı 1,839 gr/cm<sup>3</sup> ve optimum su içeriği yüzde 11,81 şişme yüzdesi 0,09 CBR yüzdesi 77,20 olarak tespit edilmiştir.

Ref. No. : AGR 11  
Tarih : 15.05.2013  
Yer/Proje : İzmit  
Taş Ocağı : İztop Karkas İnş. Beton Molozu  
Enerji : Standart Proktor  
Firma : Yavuz Selim SATIROĞLU -TEZ-  
Lab. No.

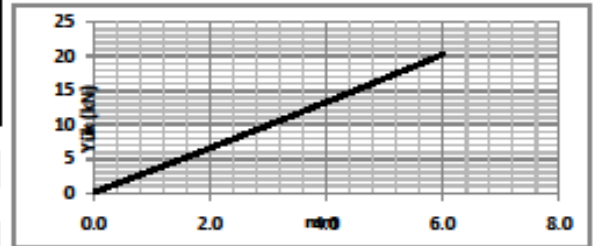
KALIP ve TOKMAK ÖZELLİKLERİ				ENERJİ (Nm/m <sup>3</sup> )
Çap (mm)	152.40	Tokmak Ağırlığı (kg)	2.50	591,841
Yükseklik (mm)	116.40	Vuruş Yüksekliği (mm)	305.00	
Hacim (cm <sup>3</sup> )	2123.31	Tabaka Sayısı	3.00	
Ağırlık (gr)	0.00	Vuruş Adedi	56.00	

MAKS. KURU BİRİM AĞIRLIK				Kuru Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )
Su İçeriğinin Tesbiti		Maks. Kuru Birim Ağırlık Tesbiti		1.706
Kap Ağırlığı (gr)	0.0	Kalip Ağırlığı (gr)	8758.0	
Kap + Islak Numune (gr)	480.0	Kalip + Islak Ağırlık (gr)	12923.5	Su Muhtevazı (%)
Kap + Kuru Numune (gr)	417.4	Islak Ağırlık (gr)	4165.5	15.00
Su Ağırlığı (gr)	62.6	Islak Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	1.962	

ŞİŞME YÜZDESİ				ŞİŞME %
Tarih	Saat	İlk Okuma	Son Okuma	
11.05.2012	15:00	0.00	0.00	0.00
12.05.2012	15:00	0.00	0.00	0.00
13.05.2012	15:00	0.00	0.00	0.00
14.05.2012	15:00	0.00	0.00	0.00
15.05.2012	15:00	0.00	0.00	0.00

Penetrasyon (mm)	2.5	5
Standart Yük (kN)	13.24	19.96
Yük (kN)	8.16	16.83
CBR (%)	61.63	84.32

Şişme Yüzdesi (%) : 0.00  
CBR (%) : 84.32



**Açıklama:**

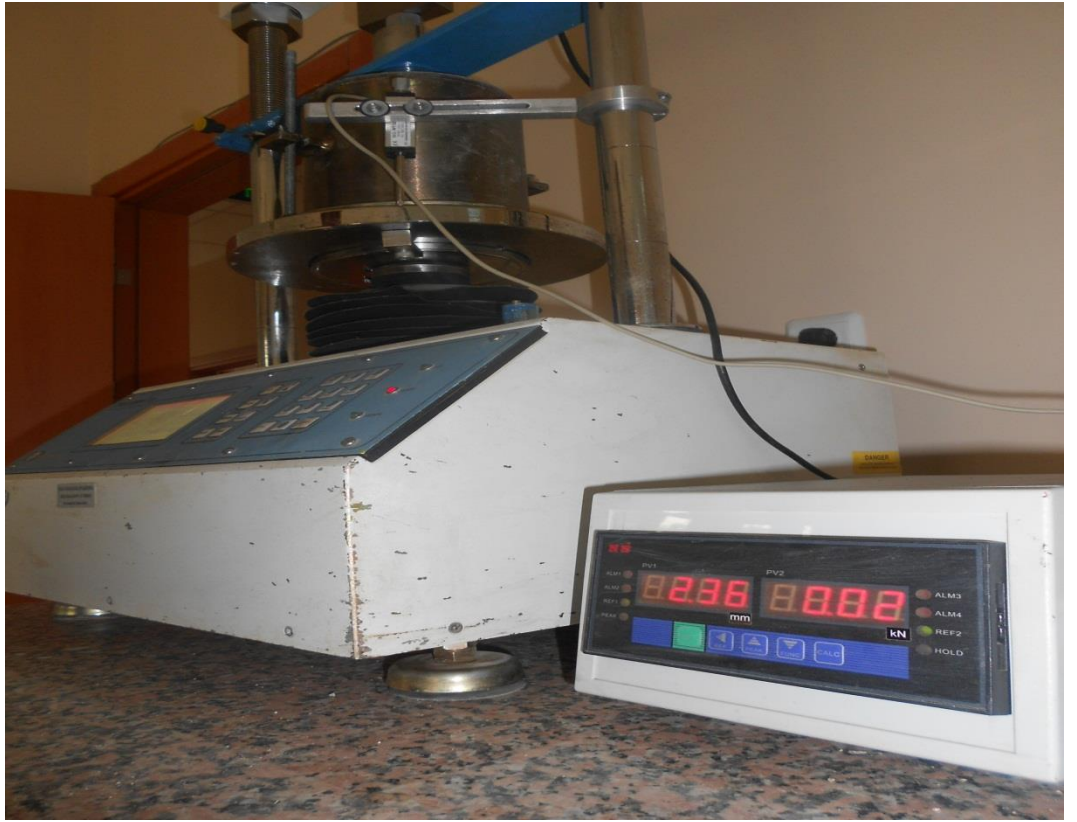
**Denevi Yapan**  
Yavuz Selim SATIROĞLU  
İnş. Müh.

**Onaylayan**  
Yavuz ABUT  
İnş. Yük. Müh.  
Lab. Şefi

Tablo 4.8 Standart proctor CBR Deney Sonuçları



Şekil 4.8 Standart Proctor CBR deneyi numunesi



Şekil 4.9 Standart proctor penetrasyon cihazı



KOCAELİ BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ  
FENİ İŞLERİ MÜDÜRLÜĞÜ ARAŞTIRMA LABORATUVARI

## California Taşıma Oranı (CBR) AASHTO T 193

Ref. No. : AGR 11  
Tarih : 15.05.2013  
Yer/Proje : İzmit  
Taş Ocağı : İztop Karkas İnş. Beton Molozu  
Enerji : Modifiye Proktor  
Firma : Yavuz Selim SATIROĞLU -TEZ-  
Lab. No.

KALIP ve TOKMAK ÖZELLİKLERİ				ENERJİ (Nm/m <sup>3</sup> )
Çap (mm)	152.40	Tokmak Ağırlığı (kg)	4.54	2,684,023
Yükseklik (mm)	116.40	Vuruş Yüksekliği (mm)	457.00	
Hacim (cm <sup>3</sup> )	2123.31	Tabaka Sayısı	5.00	
Ağırlık (gr)	0.00	Vuruş Adedi	56.00	

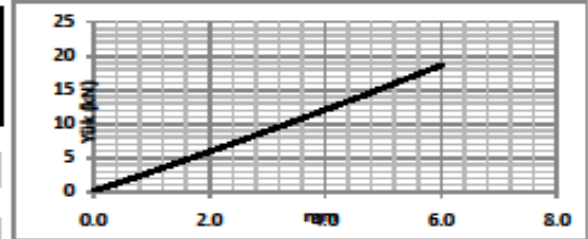
MAKS. KURU BİRİM AĞIRLIK				Kuru Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )
Su İçeriğinin Tesbiti		Maks. Kuru Birim Ağırlığı Tesbiti		1.839
Kap Ağırlığı (gr)	0.0	Kalip Ağırlığı (gr)	8817.5	
Kap + Islak Numune (gr)	365.0	Kalip + Islak Ağırlık (gr)	13182.5	Su Muhtevazı (%)
Kap + Kuru Numune (gr)	326.5	Islak Ağırlık (gr)	4365.0	11.81
Su Ağırlığı (gr)	38.6	Islak Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2.056	

ŞİŞME YÜZDESİ				ŞİŞME %
Tarih	Saat	İlk Okuma	Son Okuma	
11.05.2013	10:00	0.00	0.00	0.00
12.05.2013	10:00	0.00	0.05	0.04
13.05.2013	10:00	0.05	0.10	0.04
14.05.2013	10:00	0.10	0.10	0.00
15.05.2013	10:00	0.10	0.10	0.00

Penetrasyon (mm)	2.5	5
Standart Yük (kN)	13.24	19.96
Yük (kN)	7.41	15.41
CBR (%)	55.97	77.20

Şişme Yüzdesi (%) 0.09

CBR (%) 77.20



### Açıklama:

**Denevi Yapan**  
Yavuz Selim SATIROĞLU  
İnş. Müh.

**Onaylayan**  
Yavuz ABUT  
İnş. Yük. Müh.  
Lab. Şefi

KOCAELİ BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI  
Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Asfalt Şantiyesi İçti Karadenizliler Mah. Çarşamba Cad. (Solaklar Yolu) İzmit/KOCAELİ  
Ayrıntılı Bilgi için İrtibat: Tel : 0 (262) 322 65 02 - 143

Tablo 4.9 Modifiye proktor CBR Deney Sonuçları





**Şekil 4.10 Modifiye Proctor CBR deneyi numunesi**

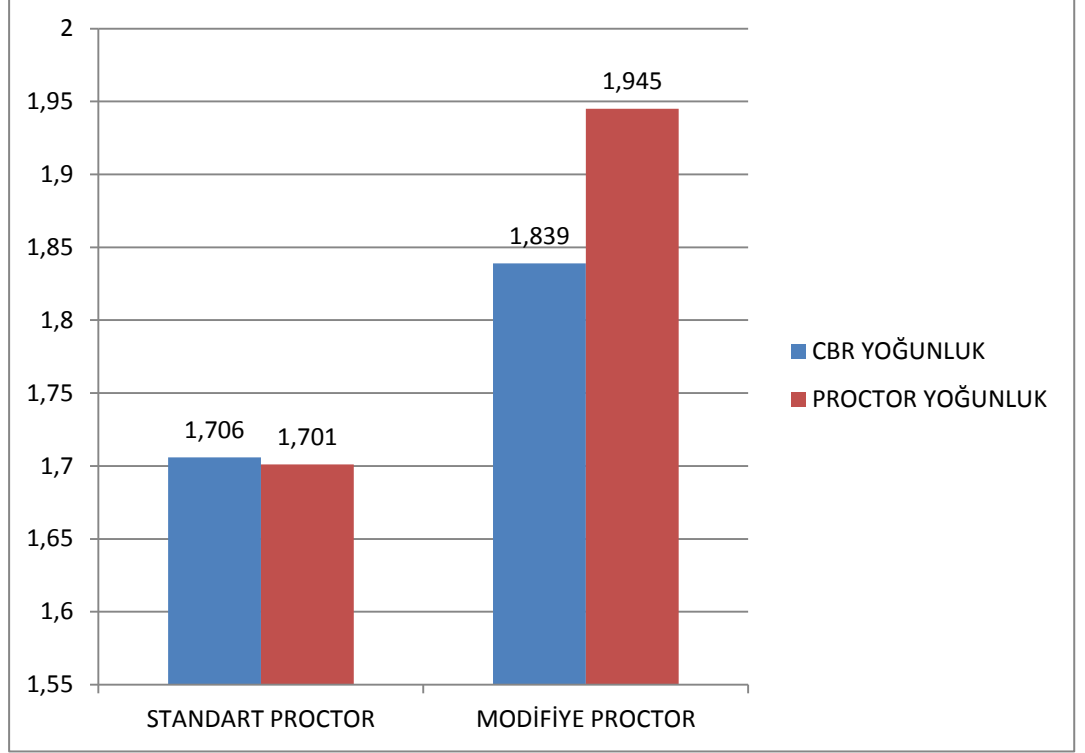


**Şekil 4.11 Modifiye proctor penetrasyon pistonu**

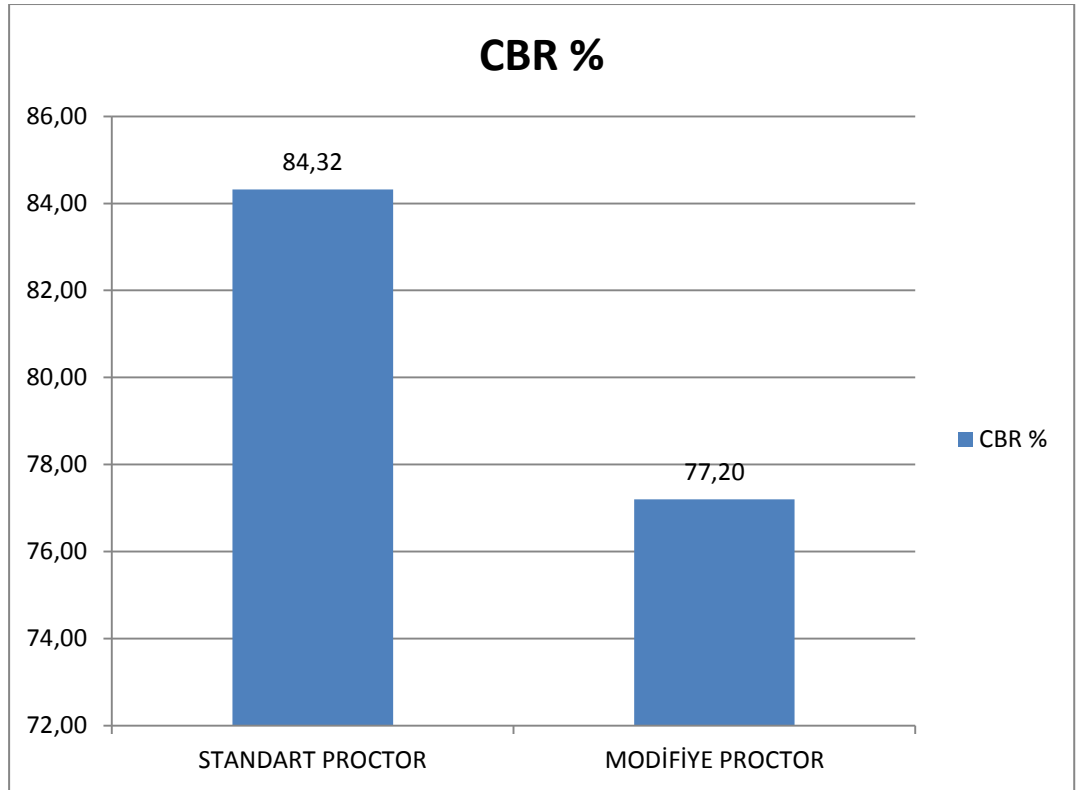
## 5. DENEYSEL SONUÇLAR

	STANDART	MODİFİYE
<b>Proctor Maksimum Kuru Birim Ağırlık</b>	1,701	1,945
<b>Proctor Optimum Su İçeriği %</b>	15	11,82
<b>Enerji</b>	591,841	2.684,023
<b>CBR Maksimum Kuru Birim Ağırlık</b>	1,706	1,839
<b>CBR Optimum Su İçeriği %</b>	15	11,81
<b>Şişme Yüzdesi</b>	0,00	0,09
<b>CBR/Proctor Maksimum Kuru Birim Ağırlık Oranı</b>	1,003	0,946
<b>Yaş CBR %</b>	84,32	77,20

Tablo 5.1 Deney Sonuçları



**Tablo 5.2 CBR ve Proctor Yoğunluk Kıyaslaması**



**Tablo 5.3 CBR Değerleri**

## 5.1 Molozların Seçme Malzeme Olarak İrdelenmesi

Beton molozu üzerinde yapılan elek analiz değerleri Tablo 4.1’de tespit edilmiştir. Malzemenin tane büyüklüklerine göre irdelendiğinde 0,075 mm elekten geçen değeri yüzde 5,50 olarak görülmektedir. Malzememizi yapılan deneyler sonucunda alt yapıda kullanılan seçme malzeme olarak irdediğimizde Tablo 5.4’de değerler elde edilmiştir. Deneyler sonucunda malzeme AASTO M-145 göre iyi derecelenmiş çakıl, çakıl-kum-silt karışımı olarak tanımlanmaktadır. Kıvam limit değerlerine bakıldığında malzeme non-plastik olduğu görülmüştür. Beton moloz malzemesinin standart proctor metoduyla CBR taşıma gücü değeri yüzde 84,32 olarak tespit edilmiştir. Malzemenin yol alt yapısında seçme malzeme olarak kullanılması için şartnamelerde belirtilen standart proctor metoduyla CBR taşıma gücü değeri yüzde 10’dan çok daha iyi bir değer aldığı görülmektedir.

DENEY	ŞARTNAME LİMİTİ	DENEY SONUÇLARI
0,075 mm’den geçen %	Max. 50	5,5
Likit Limit (LL) %	Max. 40	Non-Plastik NP
Plastisite İndeksi (PI) %	Max. 15	
Yaş (CBR) Esnek Üstyapılar %	Min. 10	84,32

**Tablo 5.4 Beton moloz malzemesinin Seçme malzeme olarak irdelenmesi**

Agregaların yüzey kırılmışlıkları içsel sürtünme açısından artmasına ve daneler arasında sürtünme kuvvetinin artmasına zemin direncinin artmasını sağlamaktadır. Kaba taneli zeminler kohezyonsuz zeminlerdir. Kohezyonsuz iyi derecelenmiş granüler malzemelerde modifiye proctor metoduyla bulunan maksimum kuru birim ağırlık standart proctor metoduyla bulunan maksimum kuru birim ağırlık değerinden yüzde 5 fazladır. Kohezyonlu malzemelerde bu fark yüzde 10 hatta daha fazladır.



Beton molozları malzemesinden alınan numunelerde yapılan proctor sıkışma deneylerinde elde edilen maksimum kuru birim ağırlık değerleri irdelendiğinde;

Modifiye proctor metodunda yoğunluk  $1,945 \text{ gr/cm}^3$

Standart proctor metodunda yoğunluk  $1,701 \text{ gr/cm}^3$  değerler bulunmuştur.

Maksimum kuru birim ağırlık oranına bakıldığında yüzde 14,30 fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanında beton moloz malzemesinin standart proctor ile standart proctor metoduyla CBR maksimum kuru birim ağırlık değerleri irdelendiğinde;

Standart proctor metodunda yoğunluk  $1,701 \text{ gr/cm}^3$

Standart proctor metodunda CBR yoğunluk  $1,706 \text{ gr/cm}^3$  değerler bulunmuştur.

Maksimum kuru birim ağırlık oranına bakıldığında yüzde 0,30 fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Bir zemin karışımının özellikleri zemindeki su miktarı ile çok yakından ilgilidir. Zeminin taşıma gücü zemindeki nemin yani su muhtevasının belli bir değerinde yeterli iken başka bir su muhtevasında yetersiz olabilir. Gerçekte zemin daneleri ince bir su filmi ile çevrilmiş olup, bu filmi oluşturan su zemin danesinin moleküler çekim kuvveti ile çekilmiştir. Zemin danesinin yüzeyine yakın yerlerde bu su hemen hemen katı halde olup daha çok bir buz filmine benzetilebilir. Zemin danesinden olan uzaklık arttıkça absorbe suyun özelliği değişim göstererek bağımsız su haline gelir.

Zeminin gerçek birim hacim ağırlığı su muhtevasının miktarı ve yeraltı su seviyesinin durumu ile değişir. Beton moloz malzemesinin su absorpsiyonu yüzde 15 olarak standart proctor deneyinde tespit edilmiştir. Seçme malzeme olarak kullanılan taş ocaklarındaki kırmataşlı malzemelerden daha fazla su absorbe ettiği görülmektedir. Yağmur veya pınar suları zeminlerde yer altı su seviyesinin yükselmesine yol alt yapı tabakasında optimum su seviyesinin artmasına ve taşıma gücü direncinde düşümlere neden olmaktadır. Beton molozunun şartnamelerde belirtilen donatı hassas olmayan malzeme özelliklerindeki su absorbesi değeri olan maksimum yüzde 3 değerinden fazla olduğu görülmektedir. Tablo 5.5'de deney sonuçları irdelenmiştir.

<b>DENEY</b>	<b>ŞARTNAME LİMİTİ</b>	<b>DENEY STANDARTI</b>
0,075 mm'den geçen %	Max. 12	5,5
Likit Limit (LL) %	Max. 25	Non-Plastik NP
Plastisite İndeksi (PI) %	Max. 6	
Kaba Agregada Su Absorpsiyonu %	Max. 3	15

**Tablo 5.5 Beton moloz malzemesinin dona hassas olmayan malzeme olarak irdelenmesi**

Beton molozu malzemesinin su absorpsiyonu yüksek olması daneler arasında kohezyon çekiminin fazla olduğu anlamına gelebilir. Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yerlerde beton moloz malzemesi suyu kendi bünyesinde absorbe eder ve don etkisi altındaki yerlerde donma ve çözülmelerden dolayı zemin stabilitesi bozulabilir. Don etkisi ve yer altı suyu yüksek zeminlerde kullanılması sakıncalı sonuçlar doğurabilir ve yük altında yol tabanında deformasyonlara sebep olabilir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerle bir değerlendirme yapacak olursak don etkisi olmayan ve yer altı su seviyesinin yüzeye yakın olmayan zeminlerde beton molozlardan elde edilen seçme malzeme zemin stabilizasyonunda kullanılabilir bir özellik sergilemektedir.

## **5.2 Molozların Alt Temel Malzemesi Olarak İrdelenmesi**

Beton molozları malzemesinden alınan numunelerde yapılan proctor sıkışma deneylerinde elde edilen maksimum kuru birim ağırlık değerlerine bakıldığında yüzde 14,30 fazla olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında beton moloz malzemesinin modifiye proctor ile standart proctor metoduyla CBR maksimum kuru birim ağırlık değerleri irdelendiğinde;

Modifiye proctor metodunda yoğunluk  $1,945 \text{ gr/cm}^3$

Standart proctor metodunda CBR yoğunluk  $1,839 \text{ gr/cm}^3$  değerler bulunmuştur.

Maksimum kuru birim ağırlık oranına bakıldığında yüzde 5,45 azaldığı gözlemlenmiştir.

Maksimum kuru birim ağırlıktaki bu azalma yanında CBR yüzdesindeki azalma yüksek basınç altında malzemede çözümlerin meydana geldiği düşünülmelidir.

DENEY ADI	ŞARTNAME LİMITLERİ	DENEY SONUÇLARI
TİP B Yaş CBR Min. %	Min. 50	77,20
Likit Limit (LL) Max. %	25	Non-Plastik (NP)
Plastisite İndeksi (PI) Max. %	6	

**Tablo 5.6 Beton moloz malzemesinin alt temel malzeme olarak irdelenmesi**

Beton molozların elde edildiği betonun bileşenlerinin genel olarak hava, agrega ve çimento hamurundan oluşmuştur. Betonda kullanılan agregalar hacimce yüzde 75'i veya ağırlıkça yüzde 60'ı kadar bulunmaktadır. Beton içerisinde çimento hamuru hacimce yüzde 21 – 23 arası veya ağırlıkça yüzde 33 – 36 arasında bulunmaktadır. Beton içerisindeki agreganın gradasyonuna bakıldığında maksimum dane boyutu 25 mm fazla olmamaktadır. Beton içerisindeki ince agrega ilâ kaba agrega arasındaki boşlukların önemli bir kısmının doldurulması ve tanelerin çimento hamuruyla kaplanıp birbirleriyle iyi bağ yapması sağlanmalıdır. Betonun basınç mukavemeti çimento hamuru ile agrega arasındaki aderans mukavemetine bağlıdır.

Beton moloz malzemesinin Tablo 4.3'de Alt Temel elek analizine bakıldığında 25,0 mm elek üstünde kalan agrega yüzde 14; 4,75 mm elek üstünde kalan agrega yüzde 51,7 olduğu tespit edilmiştir. 4,75 mm elekte kalan malzemenin fiziksel özelliklerinden dane biçiminin kırılmış kübik olduğu gözlemlenmiştir. CBR taşıma gücü deneyindeki değişim 4,75 mm kalan malzemenin yüksek enerji altında çimento hamuru ile agrega arasındaki aderans mukavemetinin aşıldığı ve danelerin kırılmışlıklarının artarak ufalandığını ortaya koymaktadır.

Çimento hamuru üzerinde don etkisinin göz ardı edilmemelidir. Çimento hamurunda jel boşlukları ve kapiler boşluklar bulunmaktadır. Jel boşlukları çok

küçük boşluklar olduğundan su zerrecikleri boşluk çeperlerinin büyük bir çekim kuvveti altında olup yüzeylerden kopmazlar. Dolayısıyla donarak kristalize olmazlar. Jel boşlukları birbirleri ile irtibatlı olmadıklarından pratik olarak geçirimsiz boşluklardır. Kapiler boşluklardaki geçirimlidirler ve içerisindeki su don etkisi olduğunda çimento hamurunun dışından içeriye doğru donmaya başlar. Donma-çözülme periyodu artıkça çimento hamurunda çatlaklar başlar ve betonun parçalanmasına kadar devam eder. Modifiye proctor metoduyla yapılan CBR deneyinde su emme oranı yüzde 11,81 olarak bulunmuştur. Bu oran şartnamelerde temel malzemelerinde maksimum yüzde 3 olarak kabul edilmektedir.

Yapılan deney sonucunda yüksek enerji altında CBR Taşıma Gücü Oranındaki azalma; beton moloz malzemesi üzerinde bulunan çimento hamurunun yük altında ufalanarak gradasyonun bozulmasına ve alt temel olarak kullanılmak istenilen beton moloz malzemesinin stabilitesinin azalıp üst yapıdan gelen yükleri karşılamakta zorlanabilmektedir. Yol üst yapısında deformasyonlara yol açabilmekte olacağı tahmin edilmektedir.

## **KAYNAKÇALAR**

### **Sürelî Yayınlar**

- KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ 2006. Karayolu Teknik Şartnamesi, Ankara
- KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ 1991. Toprak ve Stabilizasyon Laboratuvarı El Kitabı, Ankara
- TUNÇ, A. 2007 (2. Baskı). Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Ankara
- UMAR, F. ve YAYLA, N. 1989 (Sayı:1390). Yol İnşaatı, İ.T.Ü, İnşaat Fakültesi Matbaası,

### **Diğer Yayınlar**

- www.maden.org.tr. “5. ENDÜSTRİYEL HAMMADDE SEMPOZYUMU C GÜRER, H AKBULUT ve G KURKLU İnşaat endüstrisinde geri dönüşüm ve bir hammadde kaynağı olarak farklı yapı malzemelerinin yeniden değerlendirilmesi”
- www.izto.org.tr. “6. KENTSEL DÖNÜŞÜM ATAĞI 2012 Aralık N KILIÇ”
- www.tcma.org.tr. “EUpave AVRUPA BETON KAPLAMA BİRLİĞİ; Beton yollar: Akıllı ve sürdürülebilir bir seçim” Avrupa çimento birliği üyesi Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) tarafından Türkçeye çeviri, 2009
- www.khl-group.com.tr. “İSFALT Dr. İbrahim SÖNMEZ. İNŞAAT ATIKLARININ ASFALTTA GERİ DÖNÜŞÜM MALZEMESİ OLARAK KULLANILMASI”

## ÖZ GEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Yavuz Selim SATIROĞLU  
**Adres** : Karabaş mah. Abdurrahman Yüksel Cad. No:26 Kat:1 D:2  
İzmit/KOCAELİ  
**Doğum Yeri ve Yılı** :İzmit/KOCAELİ 1968  
**Yabancı Dil** : İngilizce  
**İlk Öğretim** : Ulugazi İlkokulu  
**Orta Öğretim** : İzmit Ortaokulu/Lisesi  
**Lisans** : Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği  
Bölümü 1992  
**Yüksek Lisans** : Bahçeşehir Üniversitesi 2013  
**Enstitü Adı** : Fen Bilimleri Enstitüsü  
**Program Adı** : Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi