



**KAHRAMANMARAŞ'TA KENTSEL DÖNÜŞÜMDEN
ÇIKAN ATIK MOLOZLARIN YOL ÜST YAPISINDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL
VE MALİYET OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Oğuz SALMAN

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Teknolojileri Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Remzi NAMLI**

AĞUSTOS-2019

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAHRAMANMARAŞ'TA KENTSEL DÖNÜŞÜMDEN ÇIKAN ATIK
MOLOZLARIN YOL ÜST YAPISINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN
DENEYSEL VE MALİYET OLARAK ARAŞTIRILMASI

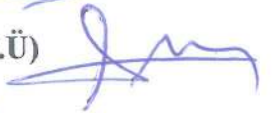
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Oğuz SALMAN

(132139103)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 01 TEMMUZ 2019

Tezin Savunulduğu Tarih : 05 AĞUSTOS 2019

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Remzi NAMLI (F.Ü) 
Diğer Jüri Üyeleri : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Ethem KIZIRGİL (F.Ü) 
Prof. Dr. Kazım TÜRK (İ.Ü) 

AĞUSTOS-2019

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Türkiye genelinde önümüzdeki yıllarda çok sayıda konutun elden geçirilmesinin planlandığı dikkate alınırsa, ortaya çıkacak olan inşaat ve yıkıntı atıklarının çevre sorunlarına sebep olmadan geri dönüşümü ve yeniden kullanımı son derece önemlidir. Bu kapsamda Kahramanmaraş sınırlarında oluşan inşaat ve yıkıntı atıklarının karışık halde ve/veya kaynağında seçimli olarak ayrıştırılmış inşaat ve yıkıntı atıklarının plent - miks temel, alt temel ve dolgu malzemesi olarak kullanım kriterlerinin belirlenmesi ve maliyet hesapları araştırılmıştır.

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında benden bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Remzi NAMLI' ya ayrıca bu çalışma esnasında bilgi ve fikirlerinden yararlandığım Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Baş Mühendisi Hacı Bayram TAŞKIRAN'a ve Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi İmar ve Kentsel Dönüşüm Şube Müdürü A. Erdem BAYDEMİR' e teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca benden desteklerini hiç esirgemeyen Öğretim Görevlisi Zülfikar AKSAĞAN, Öğretim Görevlisi Aykut Fatih KORAL ve inşaat laboratuvarı teknisyeni Orhan KARAASLAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak duaların ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, eşime ve kızıma sonsuz teşekkür ederim.

Oğuz SALMAN
ELAĞIĞ-2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	IX
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. İNŞAAT VE YIKINTI ATIKLARININ KARAYOLUNDA KULLANIMI.....	3
2.1. İnşaat ve Yıkıntı Atıkların Karayolunda Kullanımı	3
2.2. Kentsel Dönüşüm Projesi.....	6
2.3. Geri Dönüşüm Stratejik Eylem Planları	7
2.4. İnşaat Yıkıntı Atığı (İYA) Tesisleri Genel Bilgiler	7
2.4.1. Yeni Tesis Kurulması.....	8
2.5. İYA Geri Kazanım Teknolojileri	10
2.5.1. Windshifter’lar (Havalı Ayırıştırma Sistemleri)	11
2.5.2. Optik Ayırma Sistemleri	13
2.5.3. El İle Ayırma İstasyonları	14
2.6. Kırıcılar	15
2.6.1. Çeneli Kırıcılar	15
2.6.2. Darbeli Kırıcılar	16
2.7. Elekler	16
2.7.1. Izgaralı Elekler	16
2.7.2. Konvansiyonel Titreşimli Elekler	17
2.7.3. Toz Önleme	18
2.8. İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Geri Kazanım ve Yeniden Kullanımına İlişkin Teşvik Önerileri.....	18
2.9. Proje Araştırma Yöntemleri ve Aşamaları.....	19
3. KARAYOLU YAPISININ TANIMI.....	20
3.1. Karayolu Altyapı ve Üstyapı Tipleri	20

3.1.1. Karayolu Altyapısı	20
3.1.2. Karayolu Üstyapısı	20
3.2. Dolgular	21
3.2.1. Dolgu Taban Zemininin Hazırlanması	23
3.2.2. Dolguların Yapılmasında Uygulanacak Genel Kurallar	24
3.2.3. Tabakaların Oluşturulması	24
3.2.4. Sıkıştırma.....	24
3.3. Alttemel	26
3.3.1. Malzeme	27
3.3.2. Yapım Şartları	29
3.4. Plent - Miks Temel (PMT).....	30
3.4.1. Kalite Kontrol Deneyleri	32
4. MATERYAL VE YÖNTEM	33
4.1 Malzemeler	33
4.2. Agrega Deneyleri.....	34
4.2.1. Elek Analizi.....	34
4.2.2. Likit Limit Deneyi.....	37
4.2.3. Plastik Limit Deneyi.....	39
4.2.4. Plastisite İndeksi.....	40
4.2.5. Metilen Mavisi Deneyi (TS EN 933-9).....	40
4.2.6. Tane Şekli Tayini- Yassılık Endeksi Deneyi (TS EN 933-3)	42
4.2.7. Los Angeles Deneyi (TS EN 1097-2)	44
4.2.8. Magnezyum Sülfat Deneyi (Donma-Çözülme Deneyi) (TS EN 1367-2) ...	45
4.2.9. Kum-Çakıl Karışımlarının Su İçeriği- Kuru Birim Ağırlık İlişkilerinin Bulunması	47
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	54
5.1. İnşaat ve Yıkıntı Atığı Agrega Deneyleri	54
5.2. Kalker Agrega Deneyleri	55
5.3. İYA ve Agrega Karışımlarının Tasarımı	56
5.3.1. Dolgu Malzemesi Karışım Tasarımı	56
5.3.2. Alt Temel Malzemesi Karışım Tasarımı	59
5.3.3. Plent - Miks Temel Malzemesi Karışım Tasarımı	69

5.4. Kahramanmaraş İlinde Kentsel Dönüşümden Çıkan Atık Molozların Maliyet	
Olarak İncelenmesi	77
5.4.1. İnşaat Yıkıntı Atıklarının İçerik Dağılımı	77
5.4.2. Kentsel Dönüşüm Çalışmaları Sırasında Yıkılacak Tahmini Konut Sayısı	78
5.4.3. Kentsel Dönüşüm Sırasında Yıkılacak Konutlardan Çıkacak Atık Miktarı	79
5.4.4. İYA'nın Yolda Kullanılması Açısından Maliyet Analizi.....	80
6. SONUÇLAR.....	82
7. ÖNERİLER.....	84
KAYNAKLAR.....	85
EKLER	88
ÖZGEÇMİŞ	100

ÖZET

Son yıllarda hızla artan nüfus ve tüketim anlayışı, sınırlı hammadde kaynaklarında hızlı bir şekilde azalmaya sebep olmuştur. Bundan dolayı mevcut kaynakların daha ekonomik kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle kaynakların optimum şekilde değerlendirilmesi yeryüzündeki insan hayatının sürekliliğini sağlayabilmek için oldukça önemli bir araştırma konusu olmuştur.

Bu tez çalışmasında kentsel dönüşüm sürecinde oluşan inşaat atık molozlarının geri dönüşümü amacıyla yol altyapısında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle öğütülmüş atıklar Karayolları Teknik Şartnamesinde verilen granülometriye göre elenmiş ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Sonrasında, dolgu, alt temel ve plent miks temel olarak tasarlanan ve çeşitli oranlarda atık malzeme içeren karışımlar Modifiye Proctor deneyine göre belirlenen optimum su içeriklerinde sıkıştırılmıştır. Elde edilen numunelerin mukavemet özellikleri Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneyi ile belirlenip Karayolları Teknik Şartnamesinde verilen şartlarla karşılaştırılmıştır. Son olarak, doğal ve inşaat yıkıntı atığından elde edilen agreganın karayolu inşasında kullanılmasına yönelik karşılaştırılmalı bir maliyet analizi yapılmıştır.

Elde edilen bulgulara göre, İnşaat ve yıkıntı atığının temel altındaki dolgu alanında bütünüyle kullanılabileceği, Plent Miks ve Alt Temel bölgelerinde ise kısmi oranlarda kullanılabileceği belirlenmiştir. Maliyet açısından incelendiğinde, inşaat yıkıntı atıklarından agrega temin etmenin oldukça ucuz bir işlem olması nedeniyle, Alt Temel, dolgu ve Plent Miks Temel tabakalarında ve zemin iyileştirmelerinde kullanımlarının oldukça ekonomik olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İnşaat yıkıntı atığı, Modifiye Proctor, Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR), Karşılaştırmalı maliyet analizi

SUMMARY

Experimental and Cost Investigation of the Availability of Waste Molises from Urban Transformation in Kahramanmaras

The rapid increasing population and consumption understanding in recent years has caused a rapid decrease in the limited raw material resources. As a result of this situation, the necessity to use the existing resources more economically has emerged. Therefore, 'Optimum use of resources' has been a very important research topic in order to ensure the continuity of human life on earth.

In the scope of this study, firstly the granulated wastes are sieved according to the granulometry given in the Turkey Highways Technical Standard and physical properties were investigated. Subsequently, mixtures which were designed as filling, sub-base and Plant Mix and containing various amounts of waste material were compacted in optimum water contents determined according to modified Proctor test. The strength properties of these samples were determined by California Bearing Ratio (CBR) test and compared with the specifications given in the Turkey Highways Technical Standard. Finally, a comparative cost analysis was conducted for the use of aggregate obtained from natural and construction debris in road construction.

According to the findings, it is determined that construction debris can be used completely in the filling under the foundation and it can be used in certain proportions in the sub-base and Plant Mix Foundation layers. In terms of cost, it was found to be very economical to use in filler, sub-base and plant mix base layers and soil improvements, since aggregate from construction debris wastes is a very cheap process.

Keywords: Construction debris waste, Modified Proctor, California Bearing Ratio, Comparative Cost Analysis.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Tesis iyileştirmesi ile kurulabilecek revize tesis akım şeması	8
Şekil 2.2. Tüm malzemelerin ayrılması için kurulabilecek tesis akım şeması örneği	9
Şekil 2.3. İyileştirilen tesisin işleme maliyet kalemleri.....	10
Şekil 2.4. Sabit Windshifter (Havalı Ayrışma Sistemleri)	11
Şekil 2.5. Mobil Windshifter	12
Şekil 2.6. Yarı Mobil Windshifter	12
Şekil 2.7. Örnek Optik Ayrıcı Makinesi	13
Şekil 2.8. El İle Ayırma İstasyonu İç Kısmı.....	14
Şekil 2.9. Çeneli Kırıcı Kırma İşlemini Yapan Kısım	15
Şekil 2.10. Örnek Darbeli Kırıcı Resmi	16
Şekil 2.11. Örnek Izgaralı Elek	17
Şekil 2.12. Konvansiyonel Titreşimli Elekler	18
Şekil 4.1. İYA malzeme temini	33
Şekil 4.2. İYA malzemelerinin hazırlanması	34
Şekil 4.3. Elek analizi deneyi	35
Şekil 4.4. Kıvam Basamakları.....	37
Şekil 4.5. Likit Limit Deneyi	38
Şekil 4.6. Plastik Limit Numune Örneği	39
Şekil 4.7. Metilen Mavisı Deneyi.....	40
Şekil 4.8. Los Angeles Deneyi	45
Şekil 4.9. Magnezyum Sülfat Deneyi.....	46
Şekil 4.10. Modifiye Proktor Deneyi	49
Şekil 4.11. CBR deneyinin hazırlanması.	52
Şekil 4.12. CBR deneyinin yapılışı	52
Şekil 5.1. Dolgu Malzemesi Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriği Grafiği.....	58
Şekil 5.2. Alt Temel Tip B Karışım Gradasyon Grafiği	60
Şekil 5.3. Alt Temel %30 İYA ve %70 Agrega Malzemesi Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriği Grafiği	63

Şekil 5.4. Alt Temel %50 İYA ve %50 Agregası Malzemesi Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriği Grafığı	66
Şekil 5.5 Alt Temel %70 İYA ve %30 Agregası Malzemesi Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriği Grafığı	69
Şekil 5.6. Plent - Miks Temel Karışım Gradasyon Grafığı	70
Şekil 5.7. PMT %40 İYA ve %60 Agregası Malzemesi Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriği Grafığı	73
Şekil 5.8. PMT %50 İYA ve %50 Agregası Malzemesi Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriği Grafığı	76
Şekil 5.9. Geri Dönüştürülmüş İYA İçeriğinde Çıkan Malzemeler.	78



TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3. 1. Dolgu Malzemesi Özellikleri	22
Tablo 3.2. Dona Hassas Olmayan Taban Malzemesinin Özellikleri	23
Tablo 3.3. Koruyucu Tabaka Seçme Malzeme Özellikleri	23
Tablo 3.4. Arazide Kuru Birim Ağırlık Tayin Metotları	25
Tablo 3. 5. Kalite Kontrol Deneyleri	26
Tablo 3.6. Alttemel Malzemesi Gradasyon Limitleri	27
Tablo 3.7. Alttemel alzemesinin Fiziksel Özellikleri.	28
Tablo 3.8. Alttemel Sıkıştırma Kriterleri	29
Tablo 3.9. Kalite Kontrol Deneyleri	30
Tablo 3.10. Plent - Miks Temel Tabakası Gradasyon Limitleri	31
Tablo 3.11. Plent - Miks Temel Tabakası Sıkıştırma Kriterleri	31
Tablo 3. 12. Kalite Kontrol Deneyleri	32
Tablo 4.1. Standart ve Modifiye Proktor Deneylerinin Özellikleri	47
Tablo 4.2. Standart ve Modifiye Proktor Deneylerinin Özellikleri	50
Tablo 4.3. Standart ve Modifiye Proktor Deneyleri başlangıç su içerikleri	50
Tablo 5.1. Karışık İYA gradasyonu	54
Tablo 5.2. KTS Agregada Deneyleri Fiziksel Özellik Standartları	54
Tablo 5.3. Karışık İnşaat Atığı Agregada Fiziksel Özellikler	55
Tablo 5.4. Magmatik Kökenli Dunit Agregası Fiziksel Özellikleri.....	56
Tablo 5.5. Dolgu Malzemesi Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriğinin Saptanması	57
Tablo 5.6. Alt Temel Karışım Gradasyonu ve Malzeme Oranları.....	59
Tablo 5.7. Alt Temel %30 İYA ve %70 Agregada Fiziksel Özellikleri.....	61
Tablo 5.8. Alt Temel %30 İYA ve %70 Agregada Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriğinin Saptanması	62
Tablo 5.9. Alt Temel %50 İYA ve %50 Agregada Fiziksel Özellikleri.....	64
Tablo 5.10. Alt Temel %50 İYA ve %50 Agregada Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriğinin Saptanması.....	65
Tablo 5.11. Alt Temel %70 İYA ve %30 Agregada Fiziksel Özellikleri.....	67
Tablo 5.12. Alt Temel %70 İYA ve %30 Agregada Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriğinin Saptanması	68

Tablo 5.13. Plent Miks Temel Karışım Gradasyonu ve Malzeme Oranları	70
Tablo 5.14. PMT %40 İYA ve %60 Agregada Fiziksel Özellikleri	71
Tablo 5.15. PMT %40 İYA ve %60 Agregada Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriğinin Saptanması	72
Tablo 5.16. PMT %50 İYA ve %50 Agregada Fiziksel Özellikleri	74
Tablo 5.17. PMT %50 İYA ve %50 Agregada Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriğinin Saptanması	75
Tablo 5.18. Geri Kazanılmış İYA İçeriği Oranları	77
Tablo 5.19. Yığma ve Betonarme Binalarda M ² 'ye Düşen İYA Miktarı	79
Tablo 5.20. Kentsel Dönüşüm Sonrası Oluşacak Tahmini İYA Miktarı	79
Tablo 5.21. İYA ve Dünit Agregada Maliyetlerin Karşılaştırılması	80

SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

İYA	: İnşaat Yıkıntı Atığı
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	: American Society for Testing Materials
RDF	: Refuse Derived Fuels
KDV	: Katma Değer Vergisi
CBR	: The California Bearing Ratio Deneyi
LL	: Likit Limit.
PI	: Plastisite İndeksi
M₁	: Hazırlanan Deney Numunesi Kısımının Kütlesi
V₁	: İlave Edilen Boya Karışım Çözeltisinin Hacmi
MB	: Metilen Mavisi
PL	: Plastik Limit
PMT	: Plent Miks Temel
KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
D_i	: 10 mm'den Geçen Agrega
D_i	: 4 mm'den Geçen Agrega
FI	: Toplam Yassılık Endeksi
MS	: Magnezyum Sülfat Deneyi
EA	: Avrupa Standartla
TS	: Türk Standardı
MgSO₄	: Magnezyum Sülfat
M	: Elek Üzerinde Kalan Malzeme Miktarı
LA	: Los Angeles Deneyi
Yd	: Kuru Birim Ağırlık
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

1. GİRİŞ

Atık yönetimi, çevresel koruma politikaları açısından ağırlıklı bir öneme sahiptir. Çıkan atıkların çevre ve insan sağlığı için risk unsuru olmaktan çıkarılarak, ekonomi için bir faydaya dönüştürülmesini amaçlar. Atık yönetim stratejileri, gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de giderek “temel bir politika” haline gelmektedir.

İnsan hayatı ihtiyaçlarının teknoloji ile birlikte gittikçe sonsuz bir hale gelmesi bunun daha üst düzeylerde karşılanması, doğal kaynaklarımızı kullanırken bilinçli şekilde kullanmayışımız neticesinde bu kaynakların birçoğunun atığa dönüşmesi nedeniyle, çevre ve insan sağlığını ilerleyen zamanlarda çözümü olmayan tehditlerle karşı karşıya kalması kaçınılmazdır. Özellikle, bina, yol, köprü ve benzeri yapıların inşaatı, yıkımı, tadilatı, tamirâtı, doğal afetler ve kentsel dönüşüm neticesinde oluşan inşaat ve hafriyat atıkları hem inşaat sırasında hem de bırakıldıkları alanlarda arazi, su kaynakları, hava, çevre ve toprak üzerinde olumsuz etkilere sebebiyet vermektedir.

Türkiye genelinde önümüzdeki yıllarda çok sayıda konutun elden geçirilmesinin planlandığı dikkate alınırsa, ortaya çıkacak olan inşaat ve yıkıntı atıklarının çevre sorunlarına sebep olmadan geri dönüşümü ve yeniden kullanımı son derece önemlidir. Yollar, köprüler, tüneller, binalar gibi her türlü inşaat faaliyetlerinin atıkları, geri kazanılabilen ve ikincil hammadde olarak kullanılabilen malzemelerdir. İnşaat ve yıkıntı atıklarının yeniden değerlendirilmesi aşamasında içinde bulunan tahta, plastik, ahşap, demir, kablo gibi malzemeler ayrıştırılıp kırma- eleme işlemine tabi tutulduktan sonra, yüksek kalitede inşaat malzemesi elde edilebilmekte hem çevreye hem de ekonomiye katkı sağlanmaktadır.

Son yıllarda ülkemizde devam etmekte olan kentsel dönüşüm süreci “6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun”un yürürlüğe girmesiyle büyük hız kazanmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı önderliğinde gerçekleştirilmesi planlanan kentsel dönüşüm projeleri neticesinde önümüzdeki 20 yılda 7.500.000 adet bağımsız konutun yıkılıp yerine daha güvenli binalara dönüştürülmesi planlanmaktadır. Bu girişimler neticesinde yaklaşık olarak 550.000.000 ton inşaat ve yıkıntı atığının ortaya çıkması beklenmektedir.

Sayısı her geçen gün katlanarak artmakta olan inşaat ve yıkıntı atıklarından dolayı ortaya çıkacak olan çevre sorunlarının giderilmesi, sınırlı depolama sorununa katkı sağlamak ve bu atıkların ekonomik faydaya dönüştürülmesi amacıyla “Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürlüğü” tarafından, 12.01.2013 tarihli ve 28586 sayılı Mükerrer Resmi Gazete ’de yayımlanarak yürürlüğe giren “2013K080040 İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Değerlendirilmesi Projesi” geliştirilmiştir.



2. İNŞAAT VE YIKINTI ATIKLARININ KARAYOLUNDA KULLANIMI

2.1. İnşaat ve Yıkıntı Atıkların Karayolunda Kullanımı

İnşaat molozları ve yıkıntı atıkları, inşaatın tüm sektörlerinden açığa çıkan ve doğal afetler sonucu oluşan atıklardır. Bu atıklar, her bölgede kullanılan farklı malzeme tür ve cinslerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Tipik olarak beton, sıva, briket, tuğla, tahta, cam, metal parçası (çelik, alüminyum, bakır) alçı kartonpiyer, kiremit, plastik, boru, elektrik malzemesi ve asfalt gibi malzemeleri içermektedir (Demir ve Orhan, 2003; Erdoğan vd., 2005).

Günümüzde karayollarında yenileme ve bakım çalışmaları sırasında, eski yol kaplamaları, “freze” adı verilen makineler ile yol yüzeyinden kazınmakta ve yine bu makineler yardımı ile belirli boyutlarda kırılarak belediye şantiyelerinde veya boş arazilerde atık malzeme olarak depolanmaktadır (Asphalt, 2006; Jon, 1990).

Atık malzemelerin oldukça fazla olması nedeniyle çevre kirliliği oluşmaktadır (Asphalt, 2006; Jon, 1990). Bu nedenle atık asfalt kırıklarının beton içerisinde doğal agregaya yerine kullanılması sonucunda çevre kirliliği önlenabilmekte ve ülke ekonomisine büyük katkı sağlanabilmektedir (Decker ve Young, 1996; Senior vd., 1994).

Dünya ülkelerinin neredeyse tamamında yol yapım ve genişletme çalışmalarının her geçen gün arttığı göz önünde bulundurulursa agregaya gereksiniminin buna bağlı olarak artması kaçınılmazdır (Hanks ve Magni, 1989; Bansci vd., 1980).

Yoldan sıyrılmış trimer asfalt parçalarının agregaya olarak beton yollarda tercih edilmesi doğal agregaya kullanımını ve nakliye masraflarını azaltabilecek etkiye sahip olduğundan beton maliyeti düşecektir. Bitümlü bir malzeme olan sıyrılmış asfalt parçalarının su emme miktarının doğal agregaya göre düşük olması taze betonda su gereksinimini azaltmaktadır. Bu sayede işlenebilirlik artmaktadır. Ayrıca çeşitli çalışmalar incelendiğinde, sertleşmiş betonda tokluk artmakta ve çatlak oluşumunun azaldığı görülmektedir (Krietch, 1991; Akpınar, 2005).

Asfalt kırıkları yolların yenilenmesi ve bakımı sırasında ortaya çıkan atık malzemelerdir. Bu malzemelerin esnek ve rijit kaplamalarda yeniden kullanılması mümkün olmaktadır. Rijit bir kaplama olan beton yollarda, sıcaklık ve nem farkından ve trafik yükleri nedeniyle oluşan gerilmeler altında, beton plakta çatlaklar görülebilmektedir. Bu

çatlakları önlemek için beton yolu, serbest plaklar durumuna getiren derzlerin, belirli ve uygun aralıklarda yapılmaları gerekmektedir. Ayrıca, betona yüzeye yakın biçimde çelik teller konarak veya yine yüzeye yakın bir şekilde hasır donatıları yerleştirerek bu çatlamlar en asgari düzeye indirgenebilmekte ve beton çekme direnci yükseltilebilmektedir (Topçu ve Işıkdag, 2006).

Beton yolun, yol çeşitleri arasında çelik donatı kabul eden tek kaplama tipi olması, avantaj olarak görülmektedir. Beton yollarda çatlak oluşumunu önleyici diğer bir yöntem ise agrega yerine şekil değiştirme kapasitesi daha yüksek çeşitli malzemeler kullanılarak beton tokluğunun artmasını sağlamaktır (Topçu ve Işıkdag, 2006).

Amerika'da yıllık 11 milyon ton shingle atığı ortaya çıkmaktadır. Atık shingle birikiminin önlenmesi için alternatif çareler düşünülmüş ve atık malzemelerin parçalanarak yol üstyapısı, temel ve alt temel; yol çukurları, yaya kaldırımı, köprüler ve park alanlarında kullanılabileceği düşüncesi ortaya çıkmıştır (Şengöz ve Topal, 2002;).

Kömürle çalışan termik santrallerde, kömürün yanması sonucu atık olarak ortaya çıkan kül zemin stabilizasyonunda, tuğla ve çimento imali gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Amerika 'da termik santrallerden yılda 82 milyon ton, Kanada' da yılda 4 milyon ton kül ortaya çıkmaktadır. Bu atık malzemenin yerinde stabilizasyonu ve yol yapımında stabilize malzeme olarak kullanılması alanında çalışmalar yapılmaktadır (Tuncan vd.,1998).

Shingle atığını, filler malzemesi gibi kullanılabilirliğini esnek yol üst kaplamaları üzerindeki durumunu göstermişlerdir. Sabit bitüm karışım içeriği ile hazırlanan tasarımlara belli oranlarda (% 1, % 2, % 3, % 4 ve % 5) shingle ekleyerek Marshall stabilite deneyi yapmışlardır. Ayrıca, en iyi stabilite değeri veren karışımda, bağlayıcı yüzdesini yüzde 0.5 ve yüzde 1 azaltarak stabilite ve ekonomi yönünden değerlendirme yapmışlardır. Bu çalışmalar neticesinde, sıcak karışımlarda shingle atıklarının ilave olarak kullanılabileceği ve karışımın stabilite oranlarını artırdıkları bulunmuştur (Şengöz ve Topal, 2002).

Cam atığını belirli oranlarda (% 0, % 5, % 10 ve % 15) kullanarak Marshall stabilite deneyleri uygulamıştır. AASHTO ve ASTM standartlarına uygun olarak kuru/yaş nem hasarı, ışığı yansıtma, kayma direnci, su geçirgenliği ve sıkıştırma sonuçlarına bakmışlardır. Deneysel çalışmaların neticesinde, asfalt betonunda katkı malzemesi olarak cam atığının kullanılabileceği belirlenmiştir (Su ve Chen, 2002).

Esnek yol kaplamalarında, baca ve cüruf tozlarının taş tozu gibi doğal filler malzemelerine alternatif olarak kullanılma durumunun olabilirliğini araştırılmıştır. Stabilite tasarımı yöntemine istinaden hazırlanan örnekler üzerinde akma ve stabilite deneyleri

yapılmıştır. Deneyler neticesinde de baca ve cüruf tozlarının yol üstyapısında yapay agrega olarak kullanılabileceği neticesine varılmıştır (Yılmaz, 2002).

Yıpranmış otomobil lastiklerinin bitümlü sıcak karışımların performansı üzerindeki etkisini araştırılmıştır. Lastik parçalarını değişik oranlarda (yüzde 1, yüzde 2, yüzde 5 ve yüzde 7) bitümlü sıcak karışıma ekleyerek, değişik sıcaklıklarda tekrarlı sünme, statik sünme, dolaylı çekme ve Marshall stabilite deneylerine tabi tutulmuşlardır. Deneysel çalışmalar neticesinde otomobil lastiklerinin kısmi oranlarda bitümlü karışımlara katılması durumunda, soğuk iklimlerin etkili olduğu bölgelerde kalıcı deformasyonlara karşı olumlu etki yapacağı görülmüştür (Deniz vd., 2005).

Asfalt karışımlarına kül ilave edilerek mekanik özelliklerini incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında, % 5 'lik bağlayıcı yüzdesi kullanılarak dört farklı kül içeriğine sahip deneysel karışımlar değerlendirilmiştir. Bu karışımlara uygulanan sünme, elastisite modülü, kalıcı deformasyon ve yorulma gibi mekanik özellikler 0, 20 ve 40 °C sıcaklıkta olacak şekilde üç farklı sıcaklık üzerinde durulmuştur. Soyulma potansiyelinin bulunabilmesi yoluyla yorulma etkileri karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, filler malzemesi yerine kullanılan külün soyulma direncini ve mukavemet değerini iyileştirdiğini göstermiştir (Ali vd., 1996).

Afşin-Elbistan santrallerinde yanmış olan uçucu külünün esnek yol üst katmanlarında filler bağlayıcı malzemesi olarak kullanılmasını araştırılmıştır. Portland çimentosu, taş tozu ve uçucu kül filler malzemeli karışımlara Marshall deneyi uygulanmıştır. Optimum bitüm yüzdesi, akma ve stabilite değerleri, bağlayıcı ile dolu boşluk yüzdesi bulunup bulunan değerler değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma neticesinde uçucu külün esnek üst yapılarda filler bağlayıcı malzemesi olarak kullanılabilirliği görülmüştür (Güngör, 1996).

Esnek kaplamalarda aşınma tabakası olarak kullanılan karışımdaki filler yerine çeşitli oranlarda Portland çimentosu kullanılarak numuneler hazırlanmışlardır. Çalışma numunelerini stabilite ve akma özellikleri bakımından test etmişlerdir. Bir grup numune üzerinde UMATTA test cihazı kullanılarak indirekt yorulma testi yapılmış ve test sonuçları karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, deneyde kullanılan Portland çimentolu karışım hem stabilite açısından hem de yorulma ömrü bakımından olumlu sonuçlar vermiştir (Acar ve Tapkın, 1998).

Bu çalışmada, Kentsel Dönüşüm Uygulamaları neticesinde yıkılan binalardan çıkan yapı atıklarının yol üst yapısında kullanılabilirliği incelenecek olup Kahramanmaraş ilindeki uygulamalar neticesinde çıkan atıkların maliyet değerlemesi ve sağlayacağı faydalar irdelenecektir.

2.2. Kentsel Dönüşüm Projesi

Nüfus artışı ve büyük şehirlere yapılan göç sonucunda, özellikle büyük şehirlerde yapı sektöründe hızlı bir artış meydana gelmiş ve inşaat sektörü hızlanmıştır. Bu durum yeni yerleşim alanı ihtiyacı doğurmuştur. Bu talep aynı zamanda köhnemiş, eski kent dokusunun yeniden inşa edilmesi fikrini de beraberinde getirmiştir. Eski yapıların yıkılması ve yerlerine yenilerinin yapılması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Böylelikle kentsel dönüşüm projeleri ortaya çıkmıştır (Bayraktar, 2003).

Kentsel Dönüşüm; günümüz koşullarında sağlam bir çevre ve sağlıklı kentlerin yaratılması genel sonucuyla ruhsat alınmadan izinsiz yapılaşmış bölgelerin dönüştürülmesi, doğal afetler nedeniyle insanların yapılaşmasını etkileyen alanların insanların uzun süre kalıcı olduğu yerler yerine ve insanın normal yaşam tarzı dışında kalmış bölgelerin dönüştürülmesi, kullanılabilirliğini kaybetmiş tarihi mekânların koruma alanlarının dönüştürülmesi ana başlıklarıyla bir bütündür (Bayraktar, 2003).

Bir başka deyişle kentsel dönüşüm, yıkılmaya yüz tutmuş ve tahribata uğramış gece kondu yapıların, sanayi olarak kullanımını tamamlamış bölgelerin, şehrin görünümünü kirleten, görsel zevki bozan bütün yapıların, olacak bir doğal afet sonucu şehirlerin en fazla zarar göreceği mekânların tüm etnik faktörler göz önüne alınarak düzenlenmesi gereken ve bu stratejik adımlar bütünüdür. Bununla birlikte kentsel dönüşüm Türkiye’de gayrimenkul ve inşaat sektörünün gelişimi için de yeni ve önemli bir unsur olmaktadır. Bu açıdan uygulanabilir bir kentsel dönüşüm stratejisine sahip olunması büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda çıkarılan “6306 Sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun” kentsel dönüşüm sürecinde önemli bir eşiği oluşturmaktadır. Bu Kanun’un amacı; afet riski altındaki alanlar ile bu alanlar dışındaki riskli yapıların bulunduğu arsa ve arazilerde, fen ve sanat norm ve standartlarına uygun, sağlıklı ve güvenli yaşama çevrelerini teşkil etmek üzere iyileştirme, tasfiye ve yenilemelere dair usul ve esasları belirlemektir (KBB, 2013).

2.3. Geri Dönüşüm Stratejik Eylem Planları

Ülkemizde geri dönüşüm sisteminin karşılaştığı sorunlar tespit edilmiş ve çözüm yolları araştırılarak sektörün sürdürülebilir ve etkili bir yapıya kavuşmasını sağlamak adına strateji politikaları geliştirilmiştir. Bu kapsamda başta Bakanlıklar olmak üzere, büyükşehir belediyeleri, il ve ilçe belediyeleri, dernekler ve sivil toplum kuruluşları inşaat ve yıkıntı atıklarının geri kazanımına yönelik eylem planları geliştirmiş, bu eylem planlarını öngörülen süre içinde uygulamaya almışlardır.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2013-2018 yıllarına ait stratejik olan hedefleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Bayraktar, 2003):

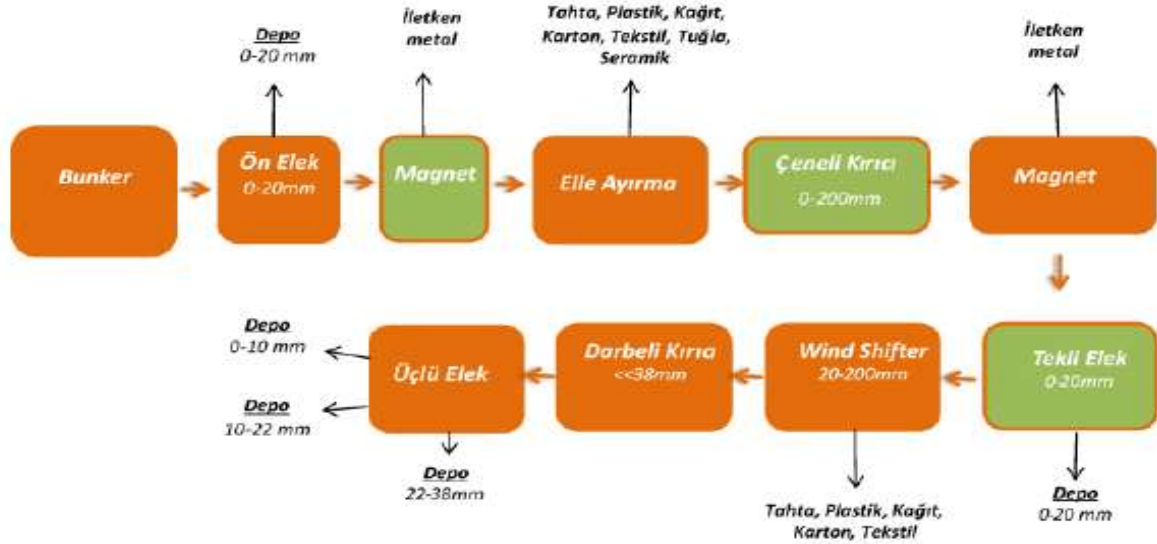
- Mevcut atık altyapı tesislerinin tümü iyileştirilmesi ve atık yok etme hizmeti verilen nüfus oranının % 85'e çıkarılması, geri kazanılabilir nitelikteki atıkların en az yarısının kaynağında ayrı toplanmasını ve bu atıkların en az % 75 oranında geri kazanımının sağlanması hedeflenmiştir.
- Temiz üretim ve en iyi tekniklerin kullanımı ile birlikte kirliliği kaynağında azaltan uygulamalara yer veren, daha az atık üretimi ve mümkünse atığın geri kazanılması ya da tekrar kullanılması, atıkların kaynağa dönüştürülmesi, doğal kaynaklar üzerindeki yükün azaltılarak “ Temiz bir Türkiye” için temiz bir üretim ve tüketimini destekleyen “temiz bir sanayi” elde edilmesi amaçlanmıştır.

Stratejilere ilişkin eylem planında T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı “sorumlu kuruluş” ve “ilgili kuruluş” olarak görevler üstlenmiştir. Bakanlık, kentsel dönüşüm uygulamalarında “düzenleyici ve denetleyici” fonksiyonlarını yerine getirebilmesi ve süreci en iyi şekilde yönetebilmesi için kentsel dönüşümün ayrılmaz bir parçası olan inşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüşümü ve değerlendirilmesi olgusunu göz önüne alması kaçınılmazdır (URL-1, 2019).

2.4. İnşaat Yıkıntı Atığı (İYA) Tesisleri Genel Bilgiler

İYA tesisin, kapasitesi ve mevcut ekipmanları göz önünde bulundurularak, yalnız karışık İYA kullanımına yönelik oluşturulan tesisin akım şeması Şekil 2.1.'de verilmiştir.

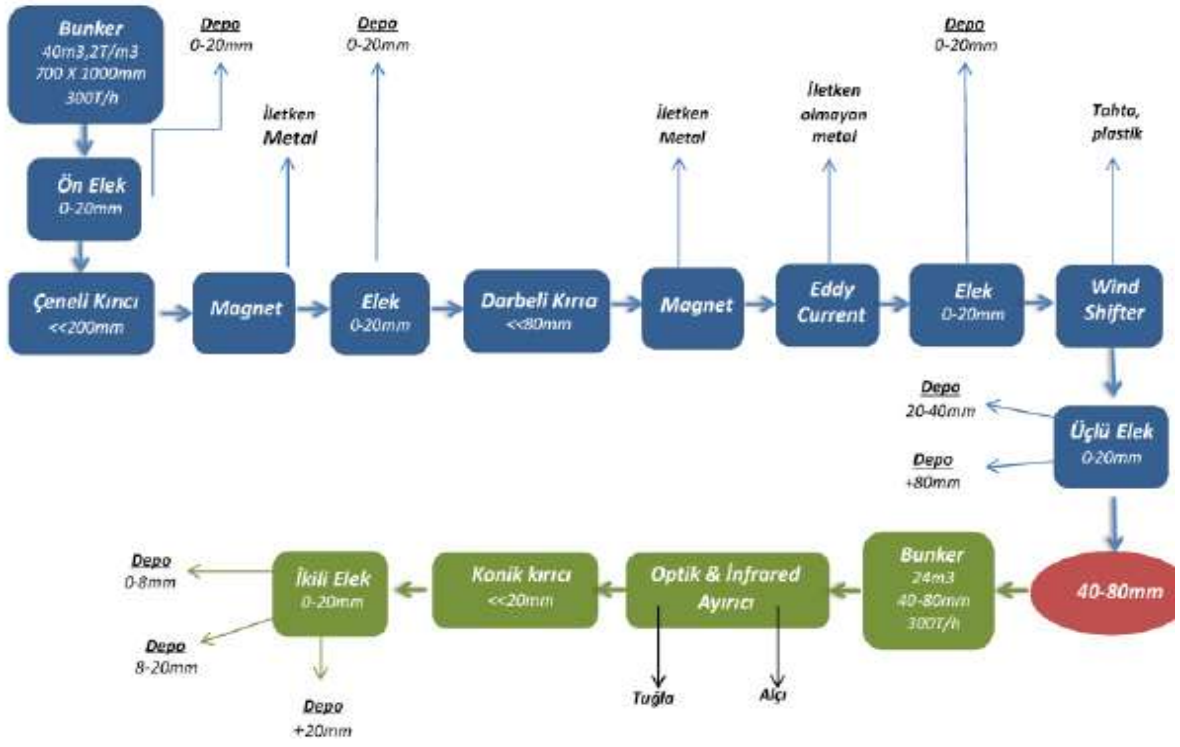
Akım şeması verilen tesisin kurulması için, Bunker, Ön Elek, Elle Ayırma, Darbeli Kırıcı, Magnetik Seperatör, Üçlü Elek ve Wind Shifter ünitelerinin temin edilerek sisteme entegre edilmesi gerekmektedir (URL-2, 2019).



Şekil 2.1. Tesis iyileştirmesi ile kurulabilecek revize tesis akım şeması (URL-2, 2019).

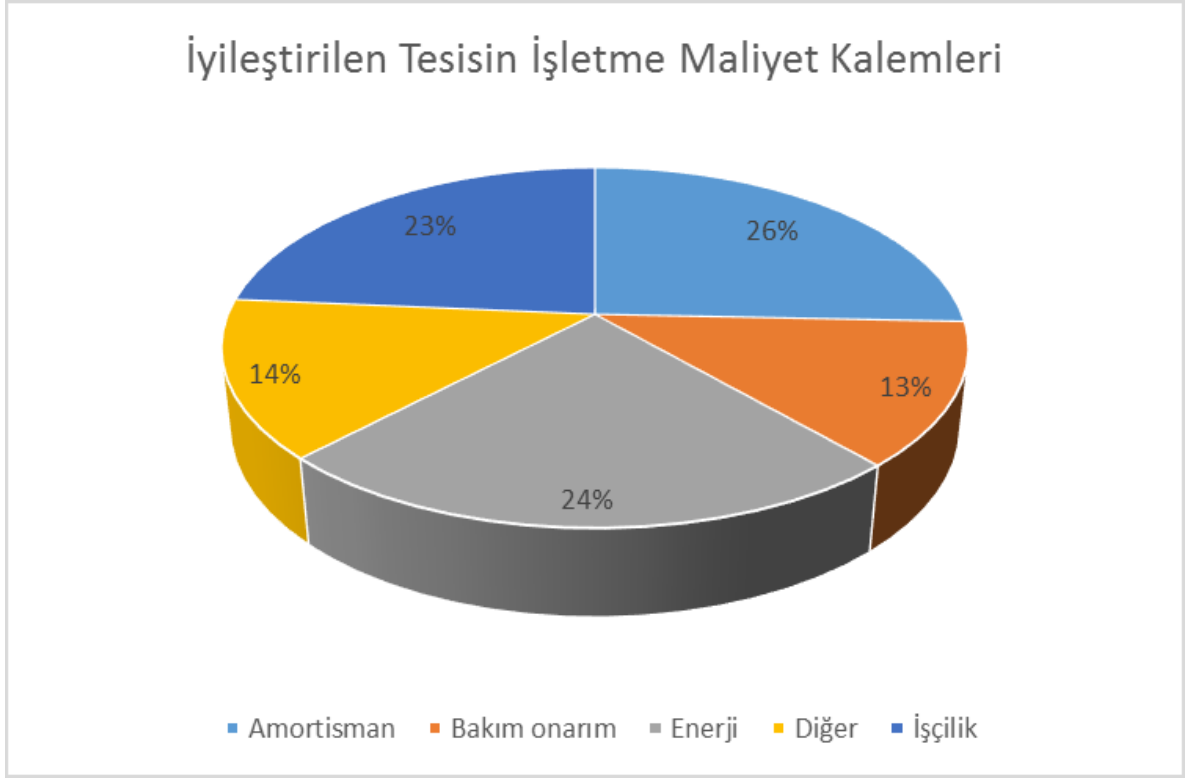
2.4.1. Yeni Tesis Kurulması

Karışık İYA'nın beton, tuğla ve diğer alt bileşenlerine ayrılabilmesi için, birden fazla ayırma teknolojisinin bir arada kullanılması gerekmektedir. Tesise gelen atıkların tamamına yakını en faydalı şekilde kullanabilmek ve kapasitesini artırabilmek için saatlik 350 ton kapasiteli (tek vardiya 2.100 ton) olarak tasarlanmış tesisin akım şeması Şekil 2.2'de verilmiştir (URL-2, 2019; Demir ve Orhan, 2003).



Şekil 2.2. Tüm malzemelerin ayrılması için kurulabilecek tesis akım şeması örneği (URL-2, 2019).

Tesisin faydalı ömrü 10 yıl olarak kabul edilmiştir. Operasyonel deneyimlere sadık kalınarak mevcut ve ilave ekipmanları içerecek şekilde tasarlanacak tesis için İlk Yatırım Maliyetinin % 10'u Amortisman Maliyeti (510.000 TL/Yıl), % 5'i ise Bakım-Onarım Maliyeti (255.000 TL/Yıl) olarak kabul edilmiştir. Enerji giderleri tesis işletilmesi sırasında kullanılacak dizel yakıt giderleridir. Tesiste çalışması için, 1 adet İnşaat Mühendisi, 1 adet saha sorumlusu, 1 adet kantar sorumlusu, 1 adet operatör ve 6 adet ayıklama elemanı ve 2 adet diğer personel olmak üzere toplam 12 adet personel çalışması öngörülmüştür. Bu durumda elde edilen işletme maliyetlerinin yüzde dağılımı Şekil 2.3.'te verilmiştir (URL-2, 2019).



Şekil 2.3. İyileştirilen tesisin işleme maliyet kalemleri (URL-2, 2019).

Şekil 2.3.'te de görüleceği üzere, karışık İYA kullanımı göz önünde bulundurularak tasarlanacak bir geri kazanım tesisinin işletme giderlerinin % 26'sını amortisman, % 24'ünü enerji, % 23'ünü işçilik, % 13'ünü bakım onarım ve % 14'ünü diğer masraflar oluşturmaktadır.

2.5. İYA Geri Kazanım Teknolojileri

İnşaat ve yıkıntı atıkları geri kazanım tesislerinde kullanılan veya entegre edilen ünitelerin neler olduğu, hangi işlevlere sahip olduklarının iyi bilinmesi gerekir. Çünkü İYA tesisinde üretilmesi hedeflenen ürünün özelliklerine göre tesiste uygun ünitelerin olması gerekmektedir. Aşağıda İYA tesislerinde bulunabilecek üniteler hakkında bilgiler verilmiştir (URL-2, 2019).

2.5.1. Windshifter'lar (Havalı Ayırıştırma Sistemleri)

Windshifter'lar kanıtlanmış bir işletme güvenliği olan geri kazanım teknolojisidir. Karışık halde küçük boyuttaki ağır ve hafif malzemeleri ayırmak için kullanılırlar. Ayırmada kullandığı kaynak adından da anlaşılacağı gibi hava gücüdür. Windshifter'lar hava kullanılarak malzemelerin özgül ağırlığına ve şekline dayanarak malzemelerin ayrılmasını sağlarlar. Kontrollü hava, atık ayırma işlemlerinde mükemmel bir ortamdır. Mekanik ayırma sistemlerinden daha fazla esneklik sunmaktadırlar. Genellikle konveyör banda monte edilirler ve özel olarak tasarlanabilirler. Kapasitenin izin verdiği sürece iki adet windshifter birbirlerine bağlanabilir (URL-3, 2019).

Piyasada firmaların ürettiği çok farklı windshifter çeşidi bulunmaktadır. Bunlar malzemeleri pozitif veya negatif hava basıncı yaparak ayırma yapabilmektedir. Birleştirilmiş windshifter'lar 3 fraksiyonu bir kerede ayırmayı mümkün kılar.

Windshifter'ların kapasiteleri gelen malzemenin tipine göre değişir. Ağır malzemeler için örneğin; yıkıntı atıkları için kapasiteler 10-250 ton/saat arasında olabileceği gibi, hafif malzemeler için örneğin RDF tesislerinde 10-40 ton/saat aralığında olur. Windshifter'lar, sabit, yarı mobil ve mobil olmak üzere 3 şekilde üretilebilmektedirler. Şekil 2.4., Şekil 2.5. ve Şekil 2.6. 'da sabit, yarı mobil ve mobil windshifter resimleri gösterilmiştir (URL-2, 2019).



Şekil 2.21. Sabit Windshifter (Havalı Ayırıştırma Sistemleri) (URL-2, 2019).



Şekil 2.5. Mobil Windshifter (URL-2, 2019).



Şekil 2.6. Yarı Mobil Windshifter (URL-2, 2019).

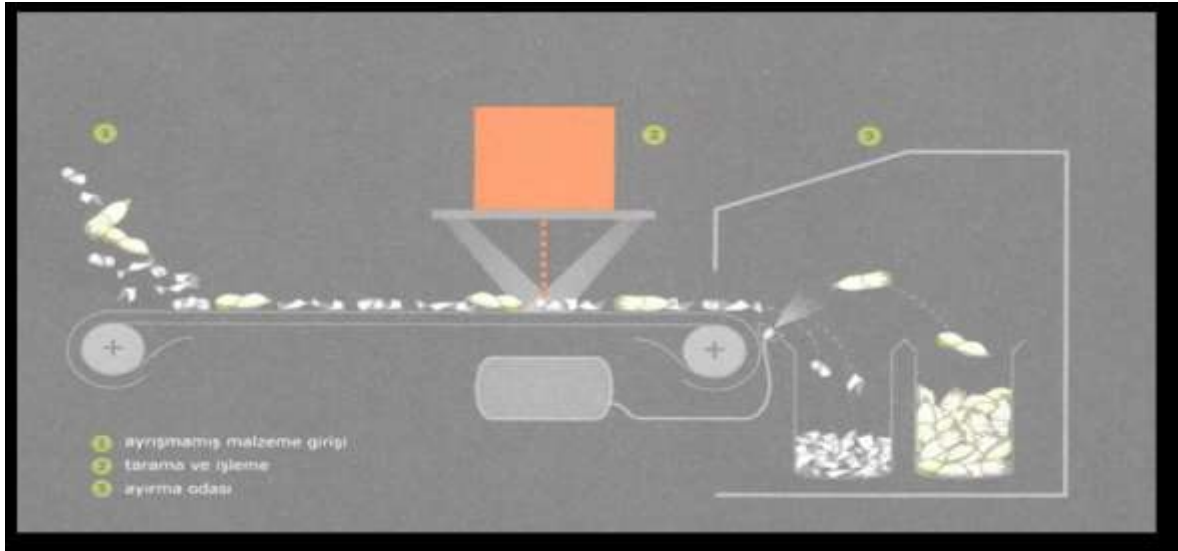
2.5.2. Optik Ayırma Sistemleri

Karışık inşaat ve yıkıntı atığı içeriği hem işlem dizaynı için hem de ekipmanlar için büyük engel oluşturur. Klasik bileşenlerin işlenmesi, parçalayıcılar, elekler, havalı ayırıcılar temel düzeyde bir ayrışmayı başarabilir. Bu yüzden değerli inşaat yıkıntı atıklarının çoğu iyi ayırlamadığından yüksek bedellerle atık sahasına gömülürler (URL-2, 2019).

Sensöre dayalı optik ayırma teknolojisi ile çalışan makineler malzemenin tipine göre ayırım yapmakta olup mümkün olduğu kadar yüksek verimle çalışmaktadırlar ve aynı zamanda mümkün olduğu kadar düşük bertaraf bedeli ödenmesine imkan tanımaktadır.

Sensör teknolojisine dayalı ayırma sistemleri Şekil 2.7.'de verilmiştir (URL-2, 2019);

- Geri dönüştürülmüş ham malzeme üretebilirler
- Ürünleri iyileştirebilirler
- Kirliliği ortadan kaldırabilirler
- Bertaraf bedellerini azaltabilirler
- Uygun kalitede malzeme oluşturabilirler.



Şekil 2.7. Örnek Optik Ayırıcı Makinesi (URL-2, 2019).

2.5.3. El İle Ayırma İstasyonları

El ile ayırma istasyonları işletmelerin sahada ve mobil olarak hızlı bir biçimde etkili olarak atıkların geri kazanımında kullanılmaktadır. El ile çalışma istasyonları genel olarak istasyon binası, istasyon binası içinden geçen konveyör bant ve konveyör bant kenarlarında manuel toplama için kurulan toplama kutularından oluşmaktadır. Temiz bir ürün elde etmek için el ile ayırma istasyonlarına hava ayırma ünitesi ve magnetik ayırıcı da entegre edilebilir. Hava ile ayırma ünitesi hafif kirlilikleri malzemeden ayırırken, insanlar tarafından el vasıtasıyla diğer istenmeyen malzemeler manuel olarak ayıklanır. Magnetik ayırıcı ile de gelen malzemedeki metaller ayrılmaktadır. Şekil 2.8.'de elle ayırma istasyonunun iç kısmı gösterilmektedir. (URL-2, 2019).

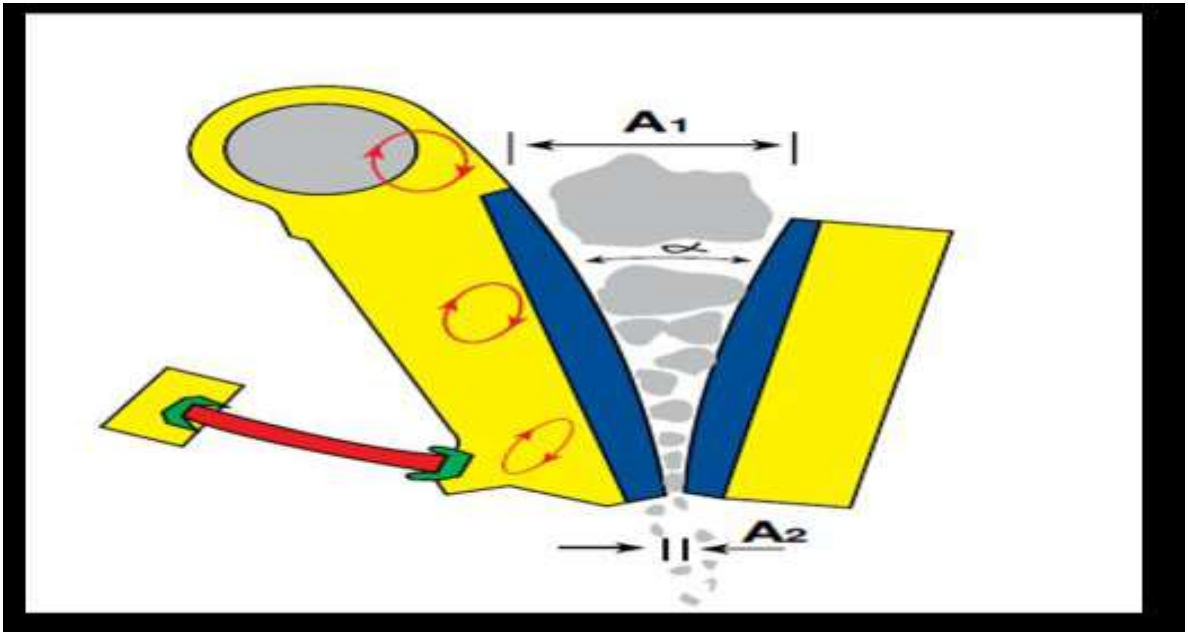


Şekil 2.8. El İle Ayırma İstasyonu İç Kısmı (URL-2, 2019).

2.6. Kırıcılar

2.6.1. Çeneli Kırıcılar

Kırılacak malzemeyi biri sabit diğeri hareketli iki çene arasında sıkıştırarak kıran en eski ve en çok kullanılan kırıcı tipidir. Kırma olayını gerçekleştiren hareketli çene eksantrik tahrik mili yardımıyla gövdeden askıya alınmıştır. Emniyet plakası ile kırıcı gövdesine desteklenmiştir. Şekil 2.9.'da çeneli kırıcı ünitelerinden kırma işlemini yapan kısım gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Çeneli Kırıcı Kırma İşlemini Yapan Kısım (URL-2, 2019).

Hareket halindeki çene yukarıdan boşaltılan malzemeyi daire hareketi yapan bir hareketle yukarı aşağı hareket ettirmektedir. Bunun neticesinde malzemenin yukarıda dönme sonucu kırılmasını, aşağıda ise çıkış ağzını (A2) terk etmesini, dolayısıyla malzeme dolanımını sağlamaktadır.

Sekonder çeneli kırıcıların malzeme boşaltılan kısmı (A1) primer kırıcılara göre daha küçüktür. Çeneler arasındaki boşaltma ağız genişliği koyulacak malzemenin en büyük byundan daha büyük seçilmelidir. Böylece iri taşların ağızda kalması ve sorun teşkil etmesi önlenmiş olup devamlı malzeme kırarak kapasitesini arttıracaktır (URL-2, 2019).

2.6.2. Darbeli Kırıcılar

Darbeli kırıcılar, kireçtaşı, dolomit, granit ve bazalt gibi orta ve yüksek sertlikte malzemeleri asfalt ve beton agregası büyüklüğünde kıran kırıcılardır. İri malzeme beslenebilme, kübik ürün, yüksek küçültme oranı, yüksek kapasite gibi özellikler bu tip kırıcıları, kırma eleme tesislerinde ideal sekonder kırıcı yapmaktadır. Şekil 2.10.'da da örnek darbeli kırıcı resmi verilmiştir (URL-2, 2019).



Şekil 2.10. Örnek Darbeli Kırıcı Resmi (URL-2, 2019).

2.7. Elekler

2.7.1. Izgaralı Elekler

Izgaralı elek, esas olarak iki amaçlı kullanılır:

- Primer kırıcıya giden malzeme ile by-pass edilen malzemeyi ayırmak için besleyici ile primer kırıcı arasına konulur.

- Primer kırıcıdan sonra ince malzemeyi by-pass ederek sekonder kırıcıya girmemesini sağlarlar. Şekil 2.11.'de ızgaralık elek resmi gösterilmektedir (URL-2, 2019).



Şekil 2.11. Örnek Iızgaralı Elek (URL-2, 2019).

2.7.2. Konvansiyonel Titreşimli Elekler

Konvansiyonel titreşimli elekler malzemeyi farklı boyutlara dönüştürmek suretiyle yapılırlar. Çok katlı olarak projelendirilirler. Ayrı bir motor, direk ya da kayış-kasnak sistemlidir. Özel rulmanlar ile elek gövdesine yataklanmış eksantrik mil, milin her iki ucunda birer eksantrik ağırlık ile tahrik edilirler. Elek katları arası, elek teli değişimini kolayca sağlayacak şekilde geniştir. Tel gergi sistemi, tel değişimi en kısa sürede yapılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Konvansiyonel titreşimli elek Şekil 2.12.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Konvansiyonel Titreşimli Elekler (URL-2, 2019).

2.7.3. Toz Önleme

Tesislerdeki toz problemini çözümü için bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler bazen kimyasallar püskürtülmesiyle bazen de su püskürtülmesiyle toz problemini ortadan kaldırmaktadır. Tesiste toz çıkan ünitelerde tozu kontrol altına almak amacıyla sensörlü toz kontrol sistemleri yerleştirilmesi uygun görünmektedir.

2.8. İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Geri Kazanım ve Yeniden Kullanımına İlişkin Teşvik Önerileri

Yapılan bu araştırma projesinde temel amaç mümkün olan en fazla miktarda İYA'nın yeniden kullanılmasını sağlamaktır. Bu bağlamda İYA'nın beton, çimento ve tuğla sektörlerinde fizibl olarak kullanılması amacıyla devlet tarafından mevzuatlara yansıtılarak özendirilmelidir. Özellikle bazı kalemlerde (KDV istisnası, gelir vergisi stopaj desteği, vergi iadesi, sigorta primi işveren hissesi desteği, elektrik ve akaryakıt tüketiminde KDV

muafiyeti, yatırım yeri tahsisi, özel tüketim vergisinde indirim, vs.) teşvik uygulanmalı ve uygulamayı yaygınlaştırabilmek için sübvansiyon yapılmalıdır (URL-3, 2019; Yeginobalı ve Ertuğ,2007).

2.9. Proje Araştırma Yöntemleri ve Aşamaları

05.07.2008 tarih ve 26927 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanan “Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik” ekinde yer alan Atık Listesindeki 17 kodlu inşaat ve yıkıntı atıklarının atık yönetim ilkelerine uygun şekilde sökümü, kaynağında ayrıştırılması, bertaraf edilmesi, depolanması ve geri kazanılan atıkların endüstriye yeniden kazandırılması açılarından yurtiçi ve yurtdışı literatür taramasının yapılması ve temin edilen yayınların derlenerek çalışmalara ışık tutacak şekilde raporlanması, konu ile ilgili standartların, teknik şartnamelerin ve mevzuatın, kanun ve yönetmeliklerin temini ve incelenmesi (R.G, 2018).

3. KARAYOLU YAPISININ TANIMI

Karayolu yapısı; önceden belirlenen geometrik standartlara uygun olarak saptanmış olan bir güzergâh boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere getirilebilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor koşullarında hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümü olarak tanımlanabilir. Karayolu yapısı; görevi, yapım sırası ve özellikleri açısından alt ve üst yapı olarak iki ayrı bölümde incelenebilir (Kılıç, 2012).

3.1. Karayolu Altyapı ve Üstyapı Tipleri

3.1.1. Karayolu Altyapısı

Yapım süreci bitmiş olan bir karayolunda, reglaj kısmıyla tabii zemin arasındaki alan altyapı adı olarak verilir. Altyapı, yolun dolgu yapılan kesimlerinde, ariyet ocaklarından getirilen malzeme ile oluşturulmuş bir gövdedir. Yarma yapılan yerlerde ise doğal zemindir. (Kılıç, 2012).

3.1.2. Karayolu Üstyapısı

Trafikteki araç ağırlıklarını altyapının taşıyabileceği mümkün değere indirmek, altyapıyı bu etkenlerden korumak ve düzgün bir ilerleme kaydetmek amacıyla altyapı üzerine oturtulan alt temel, temel ve kaplamadan oluşan katmanlı yol yapısıdır. Alt temel, trafik ağırlıklarının taban üzerine yayılmasını sağlamak, ince taneli malzemelerin altyapıların temel tabakasına inmesini engellemek, ayrıca su ve don etkilerine karşı direnç sağlayarak ayrı bir bölge oluşturmak, reglaj yüzeyi üzerine serilen tabakadır. Kaplama; taşıtlara kolaylıkla ilerleyebileceği bir platform oluşturmak, trafiğin yol üstünde oluşturacağı deformasyonları engelleyip ve yol tabanına sızan yüzeysel su miktarını ve temel tabakasına ulaşan kayma miktarlarını azaltmak amacıyla temel tabakası üzerine yapılan bir tabakadır. Kaplama altındaki temel tabakası, bağlayıcısız ya da bir bağlayıcı maddeyle işlem görmüş olan belirli granülometrideki malzemeden oluşur. Ana görevi, üstyapının yük taşıma kabiliyetini arttırmaktır. Ayrıca; trafik hareketlerinden doğan yüksek

kayma gerilmelerine karşı koyabilecek, drenaja yardımcı olabilecek ve don olaylarına karşı da koruma sağlayabilecek özelliklere sahip olmalıdır (Kılıç, 2012).

Üstyapılar; kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin türlerine, özelliklerine ve yapım yöntemlerine göre rijit ve esnek olarak iki ana sınıfa ayrılmaktadırlar. Taban zeminine, trafiğe, çevre koşullarına ve ekonomik hususlara bağlı olarak en uygun üstyapı tipi seçilir (Sönmez vd., 2013).

Bitümlü kaplama tabakalarıyla oluşturulan üstyapılara “Esnek Üstyapı” denir. Esnek üstyapı; tesviye sathıyla sıkı bir temas sağlayan ve trafik yüklerini, kaplama, temel ve alt temel tabakaları yoluyla taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olup, stabilitesi, adezyon, tane sürtünmesi ve kohezyon gibi kullanılan agrega ve bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır (Kılıç, 2012).

Esnek kaplamalarda kullanılan tabakalar;

Alt Temel: Alt Temel tabakası esnek kaplamaların en alt tabakası olup düşük CBR değerine sahip fakat iyi drene olabilen granüler malzemelerden yapılır.

Plent - Miks Temel: Belirli fiziksel şartları sağlayan ve iyi derecelenmiş bir gradasyona sahip agreganın plentte optimum su içeriğinde karıştırılması ve yola serilip sıkıştırılması ile elde edilir (URL-4, 2019).

Bitümlü Temel: 8-15 cm kalınlıklarında uygulanan bitümlü temel tabakası, trafiğe bağlı olarak genellikle plent - miks temel üzerine uygulanan yoğun gradasyonlu bir asfalt tabakadır.

Binder Tabakası: Binder tabakası; yoğun gradasyonlu geleneksel tip asfalt olup, bitümlü temel tabakası ile aşınma tabakası arasındaki ara tabakadır. Üzerine gelen trafik yüklerinin bitümlü temel tabakasına yayılarak iletilmesini sağlar. Binder tabakası trafiğe bağlı olarak genellikle 6-8 cm kalınlığında uygulanmaktadır.

Aşınma Tabakası: Üst yapının en üst tabakası olan aşınma tabakası, genellikle 5 cm kalınlığında uygulanmaktadır. En önemli görevi, üzerine gelen yükleri dağıtarak alt tabakalara iletmektir (URL-1, 2018).

3.2. Dolgular

“Bu bölüm sanat yapıları için yapılan kazılardan, yarmalardan veya ayrıca alınan niteliği uygun malzemelerden oluşmaktadır

Dolgu yapımında kullanılması gereken malzemelerde;

- a) Bitkisel toprak,
- b) Çalı, ağaç, kök vb organik maddeler,
- c) Kömür ve kömür tozu dâhil içten yanması mümkün olan malzeme,
- d) Suyu doymuş hale gelmiş killi ve maral zeminler veya bataklık,
- e) Enkaz vb. artık maddeler,
- f) Endüstriyel atıklar örneğin; çevre ve insan sağlığına zarar verecek oranda toksit madde içeren atıklar,
- g) Buzlu, karlı ve donmuş topraklar, suyun etkisiyle kolayca küçülerek oturmaları sebep olacak malzeme olmayacaktır” (KGM, 2019).

Dolgu malzemesi Tablo 3.1.' de belirtilen özellikleri sağlayacaktır.

Tablo 3. 1. Dolgu Malzemesi Özellikleri (KGM, 2019).

DENEY	ŞARTNAME LİMİTİ	DENEY STANDARDI
Likit Limit (LL), %	<60	TS 1900 AASHTOT-89
Plastisite İndeksi (PI), %	<35	TS 1900 AASHTOT-90
Maks. Kuru Birim Ağırlık (Standart Proctor)	>1.45 t/m ³ *	TS 1900 AASHTOT-99
*PI<6 ve CBR>10 olan doğal cüruf ve tüflerde bu şart aranmayacaktır. Dolgu yüksekliğinin 5 m’yi geçmesi halinde cüruf ve tüflerin kullanılabilmesi için “Araştırma Raporu” gereklidir.		

“Don etkisinin olduğu alanlarda üstyapı tabanı, projede belirtilen derinliğe kadar, Tablo 3.2.' de özellikleri verilen malzeme ile bu kısımda belirtilen yapım şartlarına uygun olarak inşa edilecektir. Dolguların; üstyapı tabanını oluşturan kısmında, Esnek Üstyapılar için CBR < 8 olan malzeme kullanılmayacak ve Tablo 3.3.'te belirtilen özellikteki Koruyucu tabaka seçme malzemesi kalınlığı üstyapı projelendirme raporunda verilecektir” (KGM, 2019).

Tablo 3.2. Dona Hassas Olmayan Taban Malzemesinin Özellikleri (KGM, 2019).

DENEY	ŞARTNAME LİMİTİ	DENEY STANDARDI
0.075 mm Elekten Geçen %	<12	TS 1900 AASHTOT-11
Likit Limit (LL), %	<25	TS 1900 AASHTOT-89
Plastisite İndeksi (PI), %	<6	TS 1900 AASHTOT-90
Kaba Agregada Su Absorpsiyonu %	<3	TS 3526 ASTM C-127

Tablo 3.3. Koruyucu Tabaka Seçme Malzeme Özellikleri (KGM, 2019).

DENEY	ŞARTNAME LİMİTİ	DENEY STANDARDI
0.075 mm Elekten Geçen %	<12	TS 1900-1 AASHTOT-11
Likit Limit (LL), %	<25	TS 1900-1 AASHTOT-89
Plastisite İndeksi (PI), %	<6	TS 1900-1 AASHTOT-90
Yaş (CBR) Esnek Üstyapılar, %	>10	TS 1900-2 AASHTOT-193

Yaş CBR deneyi neticesinde yüzde 3 ve daha fazla oranda “şişme” veren malzemelerin üstyapı tabanında ve dolguda kullanılması zorunluluğu varsa kullanım şartları; üzerine gelecek tabakaların kalınlığı, dolgu yüksekliği, yapım tekniği vb. konular incelenmesi gerekir. Bu durum araştırma raporu oluşturularak belirtilecektir.

3.2.1. Dolgu Taban Zemininin Hazırlanması

“Dolgular yapılmadan önce taban zemini, belirtildiği biçimde temizlenmesi gerekir. Bitkisel toprak 20 cm derinlikte kazılıp temizlenmelidir. Dolgu yapımı sırasında zeminde çöküntü olmaması için sıkıştırılmalıdır” (KGM, 2019).

“Dolgu yapımı kış aylarına denk geldiği dönemlerde, dolgunun yapılacağı yerde kar ve buz kısımları temizlenecektir. Yarma-dolgu geçişlerinde; dolgunun yarmaya yaslandığı yerlerde dişler açılarak kesitlerin uyumlu olarak birleşmesi sağlanmalıdır” (KGM, 2019).

3.2.2. Dolguların Yapılmasında Uygulanacak Genel Kurallar

“Dolgular; reglaj, oturma ve sıkıştırmadan sonra bütün noktalarda projede belirtilen şekilde uygulanacak. Dolgunun tüm genişliği boyunca yüzey suyunun rahatça drenajını sağlayacak enine eğimde inşa edilecektir. Dolguların yapımında herhangi bir sanat yapısının hasar görmemesine dikkat edilecektir” (KGM, 2019).

3.2.3. Tabakaların Oluşturulması

“Dolguların üstyapı tabanını oluşturan en üst kısmı esnek üstyapılarda yaş CBR % 8 den küçük olan malzeme ile teşkil edilmeyecektir. Yaş CBR % 'si bu değerlerden düşük olan bölgelerde, üstyapı projelendirme raporunda belirtilen kalınlıkta yapılacaktır” (KGM, 2019).

“Yeterli sayıda sıkıştırma ekipmanları olmadan dolgu yapılacak sahada işlem yapılmayacaktır. Malzeme serimi skreyper, greyder, dozer veya kontrol mühendisinin uygun gördüğü bir makine ile yayılacaktır” (KGM, 2019).

3.2.4. Sıkıştırma

“Dolgular; zemin yüzeyinden başlanarak yerleştiği yüzeyde yatay tabakalar halinde serilip sıkıştırılacaktır. Sıkıştırma; yolun eksenine paralel olarak yapılacaktır. Eksene doğru kotu düşük kenardan başlayarak ilerleyecektir” (KGM, 2019).

“Makinelerin tip ve kapasitesine göre dolguyu sıkıştırarak ve projede belirtilen kalınlıkta serilip, dolgu malzemesi tekniğinin tespiti için (silindirin geçiş sayısı ve silindirin hızı vb.) deneme yanılma kesimi yapılacaktır. Böylelikle teknik tespit edilecektir” (KGM, 2019).

a. Dolgularda Sıkışma Kriterleri

“Dolgular, birim ağırlık ve su içeriği kontrolü yapıldıktan sonra inşa edilecektir. Dolguların tüm sıkışma kontrolleri yapıp arazi de bulunan kuru birim ağırlığı tayin edilir” (KGM, 2019).

Dolgunun içerdiği maksimum tane çapına göre Tablo 3.4.ten seçilecektir.

Tablo 3.4. Arazide Kuru Birim Ağırlık Tayin Metotları (KGM, 2019).

Deney Adı		Malzemenin Maksimum Tane Boyut		Deney Standardı
		İn	mm	
Kum Konisi Metodu	6’’ çapında	2	50	TS 1900-1, AASHTOT 191
	12’’ çapında	3	75	TS 1900-1, AASHTOT 191
Kasnak Metodu	10’’ çapında	1 ^{1/2}	37,5	AASHTOT 181
	12’’ çapında	3	75	AASHTOT 181
Nükleer Metot		1 ^{1/2}	37,5	ASTM D6938-10, AASHTO T 310-11

“Sıkışma kontrolü için; 75 mm' den fazla ya da büyük malzemeyle oluşturulan dolgularda kabul görmüş ve geçerliliği olan yöntem bulunmamaktadır. Kum konisinin kontrolü, kasnak metoduyla ve kontrol mühendisinin isteği doğrultusunda yapılması mümkündür” (KGM, 2019).

b. Kalite Kontrol Deneyleri

“Belirli aralıklarla yapılan ve yol yapım sürecinde malzemeyi, oluşturulan tabakaları kontrol etmek amacıyla yapılması gereken deneyler ve bu deneylere ait sayılar Tablo 3.5.'te verilmiştir” (KGM, 2019).

Tablo 3.5.’te verildiği şekilde kalite kontrol deneyleri, Kontrol Mühendisinin uygun gördüğü şekilde ve sıklıkta yapılacaktır.

Tablo 3. 5. Kalite Kontrol Deneyleri (KGM, 2019).

Deney	Minimum Deney Sayısı
Likit Limit-Plastik Limit TS 1900-1, AASHTO T 89-90	Her 1.000 m ³ ’ de ve her farklı dolgu malzemesinde bir deney
Doğal Su İçeriği, TS 1900-1	Her 1.000 m ³ ’ de ve her farklı dolgu malzemesinde bir deney
Kuru Birim Ağırlık-Su İçeriği İlişkisi TS 1900-1, AASHTO T 99	Her 10.000 m ³ ’ de ve her farklı dolgu malzemesinde bir deney
Yaş CBR % TS 1900-2, AASHTO T 193	Her 10.000 m ³ ’ de ve her farklı dolgu malzemesinde bir deney
Kum Konisi Metodu, TS 19001, AASHTO T 191	Her tabakada 1.000 m ² ’ de bir deney
Kasnak Metodu, AASHTO T 181	Her tabakada 1.000 m ² ’ de bir deney
Nükleer Metot* ASTM D 6938-10, AASHTO T 310-11	Her tabakada 1.000 m ² ’ de bir deney
*İşin başlangıcında en az 10 farklı noktada nükleer metot ile yapılan sıkışma deney sonuçları ile Kum Konisi veya Kasnak metotlarından biri ile yapılan sıkışma deney sonuçlarının korelasyonu yapılacaktır. Sıkışma kontrolünün nükleer metotla yapılması durumunda, ayrıca her 2.500 m ² ’ de bir, diğer metotlardan birisi ile de sıkışma kontrolü yapılacaktır.	

3.3. Alttemel

“Bu kısım belirtilen gradasyon limitleri içerisinde devamlı gradasyon oluşturacak şekilde kullanılan malzemenin su ile karıştırılarak, tesviyesi tamamlanmış dolgu veya yarma kesimlerden oluşan üstyapı tabanı üzerine bir çok kez tabakalar halinde, projesinde belirtilen en kesit, profil ve planlara uygun olarak serilip sıkıştırılmasıyla oluşan alt temel tabakasının yapımından oluşur” (KGM, 2019).

3.3.1. Malzeme

Alttemel yapımında kullanılacak malzeme; bozuşmuş kaya, cüruf, kırma taş kum, çakıl, ayrıışmış malzeme, teras çakılı gibi malzemelerden oluşacaktır. Bu malzemelerin bulunduğu ocaklar, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı veya Bölge Araştırma Baş Mühendisliği tarafından onaylamış olacak ve malzeme Kontrol Mühendisinin denetimi altında alınacaktır. Alttemel malzemesi granülometrisi, Tablo 3.6.' da verilen gradasyon limitleri içinde ve iyi derecelenmiş olacaktır.

Tablo 3.6. Alttemel Malzemesi Gradasyon Limitleri (KGM, 2019).

Elek Açıklığı		TİP-A	TİP-B
mm	İn	% Geçen	% Geçen
75	3	100	
50	2	-	100
37,5	1 1/2	85 – 100	80 – 100
25	1	-	60 – 90
19	3/4	70 – 100	45 – 80
9,5	3/8	45 – 80	30 – 70
4,75	No.4	30 – 75	25 – 55
2,00	No.10	-	15 – 40
0,425	No.40	10 – 25	10 - 20
0,075	No.200	0 - 12	0 -12

Alttemel malzemesi, kum-çakıl taş ocaklarından alındığında, işlenmemiş malzemenin gradasyonu Tip-A gradasyon limitleri dahilinde olacaktır. Gradasyonu Tip-A limitlerine uygun olmayan malzemeler çeşitli eleklerden elenme kaydıyla gradasyonu bulunacaktır. Alttemel malzemesinin taş ocaklarından veya kum-çakıl olması durumunda konkasör yardımıyla kırılarak malzemenin gradasyonu Tip-B gradasyon limitlerine uygun hale getirilecektir. Kum-çakıl ocağından kırılarak malzeme 4.75 mm elek üzerinde kalan kısmının en az % 50 sinin iki veya daha fazla yüzü kırılmış olmalıdır. Alttemel yapımında kullanılacak olan malzemenin fiziksel özellikleri Tablo 3.7.' de belirtilen özelliklere uyacaktır.

Tablo 3.7. Alttemel alzemesinin Fiziksel Özellikleri (KGM, 2019).

DENEY ADI		ŞARTNAME LİMİTLERİ	DENEY STANDARDI
% Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, MgSO ₄ ile kayıp, %		≤ 25 (MS ₂₅)	TS EN 1367 - 2
Parçalanma Direnci (Los Angeles), %		≤ 25 (LA ₄₅)	TS EN 1097 – 2*
Yassılık İndeksi, %		35	BS 812
		≤ 30 (FI ₃₀)	TS EN 933-3*
Su Emme (Kaba ve İnce Agregada), %		≤ 3,5 (WA _{243,5})	TS EN 1097 - 6
Likit Limit, %		≤ 25	TS 1900-1 AASHTO T 89
Plastisite İndeksi, %		≤ 6	TS 1900-1 AASHTO T 90
Kil Toprağı ve Dağılabilen Dane Oranı, maksimum %		İri Malzeme (4,75 mm elek üstü) ≤ 2	ASTM C 142
Organik Madde, (%3 NaOH ile)		Negatif	TS EN 1744-1
Metilen Mavisi MB g/kg	İnce agreganın 0/2 mm	≤ 4,0 (MB _{4,0})	TS EN 933-9
	'lik kısmı	≤ 5,5 (MB _{5,5})**	
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmı	≤ 5,5 (MB _{5,5})**	
*Referans Metot			
**Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanmaması durumunda bu şart aranacaktır.			

“Modifiye Proctor Deneyi (AASHTO T193, TS 1900) ile bulunan maksimum kuru birim ağırlığın % 97' sine kadar sıkıştırılan numunelerin yaş CBR değerleri Tip-A için minimum % 30, Tip-B için ise minimum % 50 olacaktır. Alttemel malzemesinin mekanik plentte karıştırılıp finişer yardımıyla serilmesi durumunda “Plent - Miks Alttemel” olarak tanımlanacak ve bu durumda Tip-B gradasyon limitlerine uyulacaktır” (KGM, 2019).

3.3.2. Yapım Şartları

Alttemel yapımında sırasıyla serme ve sıkıştırma işlemi yapıldıktan sonra kalite kontrol deneyleri yer almaktadır.

Serme: Alttemel malzemesi, bitkisel toprağı sıyrılmış, reglajı yapılmış taban üzerine 20 cm kalınlığı geçmeyecek şekilde tabakalar halinde serilecektir. Kontrol Amirinin gözetiminde serilip sıkıştırılacaktır. Ancak sıkıştırma makinelerinin kapasite ve sayılarına göre sıkışma tabaka deneylerine istinaden Kontrol Amiri onayı alınarak 30 cm' ye kadar arttırılabilir. Alttemel birkaç tabaka şeklinde serilmesi neticesinde tüm tabaka kalınlıkları birbirine eşit olacaktır. Alttemel malzemesinin finişer ile serilmesi sonucu malzeme Plent - Miks olacaktır. Alttemel malzemesinin tesviye edilip serilmesi sırasında malzemeye eklenecek su miktarı Tip-A için Modifiye Proctor ile bulunan su içeriğinin ± 2 'si, Tip-B için $W(\text{opt}-2)$ ile W_{opt} arasında olacaktır (KGM, 2019).

Sıkıştırma: Alttemel malzemesi, Tablo 3.8.'de gösterilen değerlere göre sıkıştırılacaktır. Yol yapımında kullanılan ocak malzemesi belirlenen tabaka kalınlığına uygun sıkıştırma yöntemi, iş başlamadan önce yapılacak olan deneme kesiminde bulunacaktır. Deneme bölümü en az üç silindire kesiminden oluşacak ve uzunluğu 100 m'den kısa olmayacaktır (KGM, 2019).

Yolda yapılacak sıkıştırma esnasında görülen segregasyona uğramış kısımlar, bu kısımlarda malzemenin yerinden kaldırılarak yerine uygun malzeme getirilmesi ve sıkıştırılması yöntemiyle düzeltilecektir.

Tablo 3.8. Alttemel Sıkıştırma Kriterleri (KGM, 2019).

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

Kalite Kontrol Deneyleri: Yol yapım sırasında kullanılan malzemeyi ve belirtilen tabakayı kontrol etmek amacıyla, KTŞ göre yapılması gerekli deneyler ve sayıları, Tablo3.9.' da verilmiştir.

Tablo 3.9. Kalite Kontrol Deneyleri (KGM, 2019).

Deney Adı	Minimum Deney Sayısı ve Deney Sıklığı
Dane Boyut Dağılımı TS 1900-1, AASHTO T 27,11	Her 2.000 m ³ ' de 1 deney
Likit Limit-Plastik Limit TS 1900-1, AASHTO T 89-90	Her 2.000 m ³ ' de 1 deney
Metilen Mavisi TS EN 933-9	Her 2.000 m ³ ' de 1 deney
Parçalanma Direnci (Los Angeles) TS EN 1097-2,AASHTO T 96	Her malzeme veya gradasyon değişikliğinde ve ayrıca 6 ayda bir deney
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, MgSO ₄ ile kayıp TS EN 1367-2, AASHTO T 104	Her malzeme veya gradasyon değişikliğinde ve ayrıca 6 ayda bir deney

3.4. Plent - Miks Temel (PMT)

“PMT tabakası ince malzeme, kırılmış cüruf, kırma taş ve kırılmış taş malzeme kullanılarak Tablo 3.10’da belirtilen gradasyon limitleri içerisinde kalacak şekilde olmalıdır. Sürekli gradasyon oluşturacak düzeyde kaba ve ince olmak üzere en az üç ayrı malzeme boyutu topluluğunun uygun oranda su ile bir plentte mekanik karıştırıcı ile karıştırılmasıyla birçok tabaka şeklinde serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulan tabakadır” (KGM, 2019).

Malzeme: PMT katmanı agrega fiziksel özellikleri sağlayacak ve Tablo 3.10.’da verilen gradasyon limitlerinde, ince ve kaba agregalardan oluşacaktır.

Tablo 3.10. Plent - Miks Temel Tabakası Gradasyon Limitleri (KGM, 2019).

Elek Açıklığı		% Geçen	
mm	İn	Tip - I	Tip - II
37,5	1 1/2	100	
25	1	72 – 100	100
19	3/4	60 – 92	80 – 100
9,5	3/8	40 – 75	50 – 82
4,75	No.4	30 – 60	35 – 65
2,00	No.10	20 – 45	23 – 50
0,425	No.40	8 – 25	12 – 30
0,075	No.200	0 - 10	2 - 12

Karışımında kullanılacak olan su miktarında titreşimli tokmak (TS 1900, BS 1377) ile bulunan optimum su içeriğinden $W_{opt} \pm 0.5$ veya Modifiye Proctor (TS 1900, AASHTO T 180) deneyi ile bulunan optimum su içeriğinden (W_{opt-1}) - W_{opt} aralığında olacaktır.

Karışımın Sıkıştırılması: Arazide sıkışma kontrolü Karayolları Teknik Şartnamesi Kısım 401 "Alttemel" tabakasında verilen yöntemlerine göre yapılacaktır. Gerekli sıkışma sonucu bulunması istenen minimum sıkışma yüzdeleri Tablo 3.11.' de verilmiştir.

Tablo 3.11. Plent - Miks Temel Tabakası Sıkıştırma Kriterleri (KGM, 2019).

Minimum Sıkışma, %	100	Modifiye Proctor TS 1900-1, AASHTO T 180
	97	Titreşimli Tokmak TS 1900-1, BS 1377
Optimum Su İçeriği, %	(W_{opt-1}) – W_{opt} ($W_{opt} \pm 0,5$)	Modifiye Proctor Titreşimli Tokmak

3.4.1. Kalite Kontrol Deneyleri

Yol yapım sırasında kullanılan malzemeyi ve oluşturulan tabakayı kontrol etmek suretiyle, çeşitli periyotlarla yapılması gereken Kalite Kontrol Deneyleri, minimum deney sayısı ve deney sıklıkları Tablo 3.12.'de verilmiştir.

Tablo 3. 12. Kalite Kontrol Deneyleri (KGM, 2019).

Deney Adı	Minimum Deney Sayısı ve Deney Sıklığı
Dane Boyut Dağılımı TS 1900-1, AASHTO T 27,11 -Kaba agreg -İnce agreg -Karışım	Her 500 m ³ ' de deney Her 300 m ³ ' de deney Her 1.000 m ³ ' de deney
Likit Limit-Plastik Limit TS 1900-1, AASHTO T 89-90	Her 1.000 ton' a 1 deney
Parçalanma Direnci (Los Angeles) TS EN 1097-2,AASHTO T 96	Her malzeme veya gradasyon değişikliğinde ve ayrıca 6 ayda bir deney
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklık, MgSO ₄ ile kayıp TS EN 1367-2, AASHTO T 104	Her malzeme veya gradasyon değişikliğinde ve ayrıca 6 ayda bir deney
Yassılık İndeksi BS 812, TS EN 933-3	Karışım dizaynında ve her ay bir deney
Kırılma %' si	Karışım dizaynında ve her ay bir deney
Su İçeriği TS 1900-1	Her 1.000 ton' a 1 deney
Kuru Birim Ağırlık-Su İçeriği İlişkisi TS 1900-1, AASHTO T 180	Karışım dizaynında ve her ay bir deney
Yaş CBR TS 1900-2, AASHTO T 193	Karışım dizaynında ve her ay bir deney

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Malzemeler

İnşaat ve yıkıntı atığı Kahramanmaraş bölgesi riskli Alan ilan edilen Gayberli mahallesinden elle seçilmiş, ayrıışmış malzemelerden alınarak depolanmıştır. Şekil 4.1’de bu çalışmalar görünmektedir.



Şekil 4.1. İYA malzeme temini

Riskli Alan ilan edilen Gayberli bölgesinden alınan malzemeler, çalışmalarda kullanılacak boyutlara getirilmek için makine yardımı ve balyozla kırıldıktan sonra tekrar elle ayrıştırılmış, istenilen boyutlara getirilmek için elenmiştir. Şekil 4.2.’de yapılan bu çalışmalar görünmektedir.



Şekil 4.2. İYA malzemelerinin hazırlanması

4.2. Agrega Deneyleri

Agregaların karayolu üstyapısında kullanılabilmesi için, donma-çözünme, aşınma dirençlerinin, özgül ağırlık, su emme, soyulma değerlerinin, elek analizleri ve tane şekillerinin, sürtünme etkileriyle oluşacak cilalanmaya karşı olan dirençlerinin bilinmesi yeterlidir. Ancak bu özelliklerin tamamının üstyapı tabakalarının tümünde bilinmesine de gerek yoktur (Önal, 2009).

4.2.1. Elek Analizi

Araziden gelen numune çeyreklemeye veya bölgeç yardımıyla alındıktan sonra elek analizine başlanır. Elek analizinin amacı malzemeyi tane boyutuna göre ayırmak (gradasyonu belirlemek), malzemenin cinsini, sınıfını, birleşik zemin sınıfını bulmaktır. Şekil 4.3.'te elek deneyi yapımı gösterilmektedir



Şekil 4.3. Elek analizi deneyi

Deneyde kullanılan araç ve gereçler:

- Elekler Terazisi: En az 15 kg kapasitede 1 gr duyarlılık ve 2.5 kg kapasitede 0.1 gr duyarlılıkta iki terazi.
- Elekler: 75 mm, 50 mm, 37.5 mm, 25 mm, 19 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.00 mm, 0.425 mm, 0.075 mm açıklığa sahip.
- Fırın: 110 ± 5 °C ayarlanabilen
- Bölgeç: Numuneyi ayırmak için kullanılan araç

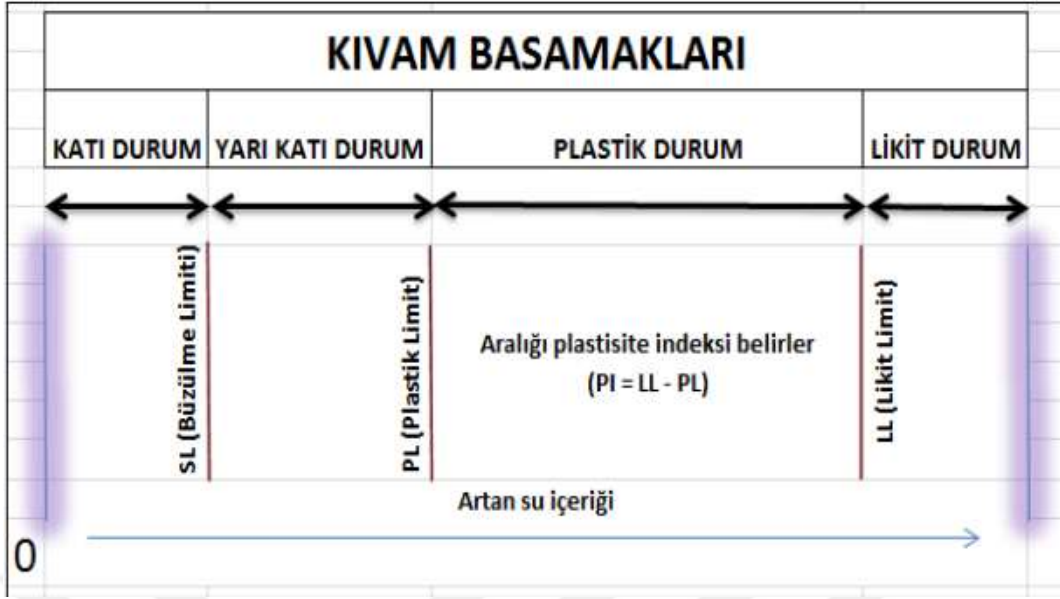
Laboratuvara getirilen numune, temiz bir yere serilerek oda sıcaklığında kurutulur. Şayet numune topaklar içeriyorsa lastik uçlu tokmakla dövülerek birbirine yapışmış danelerin ayrılması sağlanır. Bu şekilde hazırlanan numunelerin deneye tamamı alınmadığından malzemeyi temsil edecek şekilde dörtlleme veya bölgeçlerden geçirilerek yeterli numune elde edilir.

Hazırlanan malzeme 4.75 mm elekten ilk önce elenir. 4.75 mm üstü iri malzeme, 4.75 mm altı malzeme ince malzeme olarak nitelendirilir. Bundan dolayı elek analizi ince elek analizi ve kaba elek analizi olarak ikiye ayrılır.

İri elek analizi, 4.75 mm üzerinde kalan ve numune yaşı hazırlanmış ise 110 °C etüvde kurutulmuş, numune kuru olarak hazırlandığında kuru olarak kabul edilen malzemeyi 75 mm, 50 mm, 37.5 mm, 25 mm, 19 mm, 9.5 mm, 4.75 mm elekten elenir ve her bir elek üzerinde kalan malzeme ağırlığı deney kartındaki yerine kaydedilir.

İnce elek analizi, Elek analizi 4.75 mm elekten geçen numunenin ince kısmın kuru ağırlığı bilinmelidir. İnce malzeme için rutubet numunesi alınarak rutubet düzeltilmesi yapılarak kuru ince malzeme miktarı bulunur. Malzemenin içerisinde temsili 300-500 gr arasında malzeme alınır. Malzeme kaba konularak üzerine su ilave edilir. Yaklaşık 18 saat bekletilerek numune içindeki yumuşak kısımların birbirine yapışmış taneciklerin ayrılması sağlanır. 0.075 mm açıklığa sahip elek ile yıkanır. Yıkama sırasında eleğin yıpranmaması için koruyucu olarak 0.425 mm elek konulması tavsiye edilir. Berrak su gelinceye kadar musluk suyu ile yıkanır. Yıkanan numune 110 °C fırında sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Oda sıcaklığına kadar soğutulan ince malzeme sırası ile 2,0 mm, 0.425 mm ve 0.075 mm eleklerden elenerek her elek üzerinde kalan malzeme tartılır ve deney formuna yazılır ve hesaplamaları yapılır.

Kıvam Limitlerinin Belirlenmesi: Zemin tanecikleri arasında kohezyonun derecesini ve zemin kütlelerini biçim değiştirmeye ve kırılmaya zorlayan kuvvetlere karşı gösterdiği direnci belirten kavramdır. Su taneli zeminlerin yük altındaki davranışlarını çok az etkiler, kohezyonlu zeminlerin ise yük altındaki davranışlarını belirleyen en önemli faktördür. Bu nedenle ince taneli zeminlerin yapısal sınıflandırılmasında kıvam limitlerinin önemi büyüktür. İsveçli bilgin Atterberg dört kıvam durumunu tespit etmiştir. Bunlar sıvı, plastik, yarıkatı ve katı hallerdir. Bu durumları birbirinden ayıran limitlere sırasıyla Likit limit ve Plastik limit denir. İnce taneli zeminlerin bünyesindeki su miktarı arttıkça katı bir durum olan akıcı bir sıvı kıvama kadar çok geniş bir aralık içinde değişim gösterir. Buna bağlı olarak yük altında şekil değiştirme ve sıkışma gibi mühendislik özelliklerinde büyük farklılıklar meydana gelmektedir. Kohezyonlu zeminler su ilavesiyle basınç altında her şekle sokulabilen bir macun haline getirilebilir. Şekil 4.4.'te kıvam basamakları verilmiştir.



Şekil 4.4. Kıvam Basamakları (KGM,2019)

Zeminin su içeriği arttıkça kohezyonu azalır ve toprak daha kolay işlenebilir. Su içeriğinin artmasıyla kohezyonun azalması sonucunda toprak kendi ağırlığı altında şeklini koruyamayacak konuma gelir ve göçmeler gerçekleşir.

4.2.2. Likit Limit Deneyi

Likit limit, zeminlerin sıvı halden plastik hale geçtiği andaki su içeriğine denir. Likit limit değeri, Casagrande metodu ve koni düşürme metodları ile bulunabilir. Casagrande metodunda 25 düşüşe karşılık gelen su muhtevası Likit Limit değeridir. Koni Düşürme (penetrasyon) metodunda 20 mm batmaya karşılık gelen değer likit limit değeridir.

Araziden alınan toprak numunesi oda sıcaklığında veya 60°C'lik fırında kuruyuncaya kadar bekletilir. Numune kurutulduktan sonra 0,425 mm (No. 40) elekten elenir. Elek altındaki malzemeden 100 gr. alınır. Numune porselen potaya bırakılır ve 10–20 cc kadar su ilave edilir. Spatula yardımı ile iyice karıştırılıp homojen bir numune elde edilir. Numunenin ortam koşullarından etkilenmemesi, rutubetini koruması ve olgunlaşması için yaklaşık olarak 16 saat desigatör (Cam Fanus)'ün içine bırakılır.

Hazır olan numune karıştırılarak pirinç potaya serilir. Pirinç potada numune miktarı 1 cm'den fazla olmamalıdır. Ayrıca numune içinde hava kabarcıklarının oluşmaması için ıspatula yardımı ile havası alınmalıdır. Düşey bir şekilde serilen çamur oluk açma bıçağı ile tam orta noktadan, yukarıdan aşağıya doğru seri bir hareket ile oluk açılır. Açılacak

oluk uygun boyutta düzgün ve keskin kenarlı olmalıdır. Oluk açıldıktan sonra saniyede 2 düşüş yapacak şekilde aletin kolu çevrilir.

Oluk açma bıçağı ile iki parçaya ayrılan numune alttan 1,27 mm uzunluğundaki kısım birleşinceye kadar kol çevrilir. Gerekli darbe adedi sayılarak kayıt edilir. Oluğun kapandığı yerde oluğa dik olarak dilim şeklinde bir rutubet numunesi alınır.

Rutubet numunesi 110 °C 'de sabit sıcaklıkta kurutulup sabit ağırlığa gelinceye kadar soğuması beklenir ve ağırlığı tartılarak kayıt edilir. Numune alındıktan sonra biraz daha su ilave edilerek deney tekrarlanır ve bundan da numune alınıp kurutulur. Tekrardan üçüncü kez malzemeye su verilip, numune alınır ve hesaplaması yapılır.

- I. Durumda Darbe (Vuruş) Adedi = 25–35
- II. Durumda Darbe (Vuruş) Adedi = 20–30
- III. Durumda Darbe (Vuruş) Adedi = 15–25 aralığındadır.

Su içeriği %'si ile darbe adedi arasındaki ilişkiyi gösteren yarı logaritmik bir grafik kâğıdı üzerinde işaretlenir. Noktalar işaretlendikten sonra 3 noktanın üzerinden olmasa da yakınından geçen düz bir doğru çizilir. Doğru üstünde 25 darbeye karşılık gelen su içeriği %'si bu hazırlanan numunenin likit limit değeridir. Şekil 4.5.'te limit likit deneyinin yapılışı verilmektedir.



Şekil 4.5. Likit Limit Deneyi

4.2.3. Plastik Limit Deneyi

Plastik limit, zeminin plastik halden yarı katı hale geçtiği andaki su içeriğidir. Yuvarlanmış zemin solucanları, 3 mm çapa ulaştığında kopmalar ve çatlaklar başlamışsa zemin plastik limitedir.

0,425 mm (No. 40) elekten elenen malzemeden tahmini 20 gr. alınır. Numune el yardımıyla sıkıldığında yeterince yuvarlak bir top şekline gelene kadar su ilave edilerek karıştırmaya devam edilir. Plastik limit deneyi için hazırlanan çamur numunesi ortadan ikiye bölünecek şekilde ayarlanır. Bölünen her parçasına plastik limit yapılır.

Deney için hazırlanan numune avuç içinde sıkılarak mekik şeklinde bir kütle durumuna getirilir. Kütle cam veya mermer plaka üzerinde uzunluğu boyunca her noktasında aynı olan kalın bir iplik halini alacak şekilde parmaklar ile yeteri kadar bastırarak yuvarlanır (Dakikada 80–90 kez elin hareket etmesi gerekir). Numune 3 mm çapında olacak ve kılcal çatlaklar gözlenmelidir. Şayet gözlenmiyorsa su miktarı fazladır. Bu durumda malzeme 6–8 parçaya ayrılır. Yeniden bir kütle haline getirilir ve tekrar yuvarlanır. İplik haline getirme işlemlerine numunenin normal el basıncı altında yuvarlanması ile gerçekleştirilir. Numune 3 mm çapında iplik haline gelmiş ve çatlamlar gözlenmişse Plastik Limit durumuna gelmiştir. Rutubet kutularına bırakılır ve kap + yağ numune olarak tartım yapılır. Numune 110 ± 5 °C’ de fırında kurutulduktan sonra soğuması beklenir. Kap + kuru numune tartılarak hesaplanır. Şekil 4.6.’da plastik limit deney numuneleri verilmiştir.



Şekil 4.6. Plastik Limit Numune Örneği

4.2.4. Plastisite İndeksi

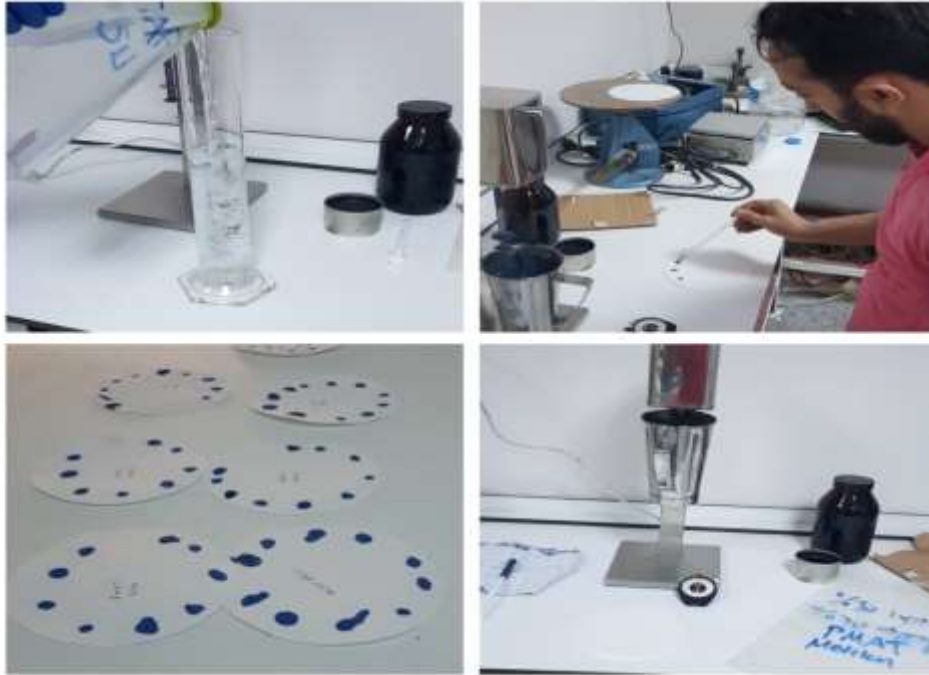
Plastisite İndeksi zeminin plastik davranış gösterdiği su muhtevası aralığıdır. Diğer bir ifadeyle, zeminin suyu ne kadar sevdiğinin bir göstergesidir.

25-30'dan büyük bir plastisite indeksi değeri; düşük mukavemetli, yüksek sıkışabilirliğe ve yüksek şişme potansiyeline sahip problemlı bir zemini işaret edebilir.

$$PI(\text{Plastisite İndeksi}) = LL(\text{Likit limit}) - PL(\text{Plastik limit})$$

4.2.5. Metilen Mavisi Deneyi (TS EN 933-9)

(0-2) mm aralığında ince agregalarda veya gruplandırılmamış agregalarda metilen mavisi değerinin bulunması (kirlilik oranının tayini) için uygulanır Şekil 4.7.'de metilen mavisi deneyinin yapım şekli verilmiştir.



Şekil 4.7. Metilen Mavisi Deneyi

Metilen mavisi karışımı, suya karıştırılmış deney numunesi kesiminden oluşan süspansiyona arka arkaya ilave edilir. Karışmış boya karışımının deney numunesi tarafından absorpsiyonu, karışımın eklenmesinden sonra süzgeç kâğıdına dokunarak bir

leke deneyi yapılır. Kenarlarında açık renk boyanın varlığının belirlenmesi suretiyle kontrol edilir. Metilen mavisi değeri (MB) bulunur. Deneye tabi olan agrega büyüklük aralığının beher miktarı başına adsorblanan boya, gram türünden ifade edilir.

Deney numuneleri, (0-2) mm arasında en az 200 g agrega olmalıdır. Numune EN 932-2' ye göre azaltılmalıdır. (110 ± 5) °C' ta tamamen kurutulup, soğutulmaya bırakılır. Tamamen kurutulmuş numune (0-2) mm arasındaki agregaların toplanmasının sağlanması için bir fırçası yardımıyla, engelleyici bir elek ile korunan (gerekirse) 2 mm elek çapı açıklıklı bir elekten elenir. 2 mm lik elekte kalan taneler ayrılır. Elekten geçen malzeme miktarı, 200 g olacak şekilde deney numunesi elde oluşturmak için, EN 932-2' ye göre azaltılır ve 1 gr hassasiyetteki terazide tartılır.

Leke Deneyinin Açıklaması:

- Kâğıttaki leke deneyi, çubuğa alınan boya ile beraber, süspansiyondan bir damla olmak üzere alınması ve bu damlanın süzgeç kâğıdı üzerine dokunulmasıyla oluşur. Görülen leke, renksiz ıslak bir alan ile çevrelenir. Çoğu zaman dağılmış mavi renkli bir malzeme kalıntısından ihtiva olur.
- Çubuktaki çözelti miktarı, birikinti çapı 8 mm ila 12 mm aralığında kalacak şekilde bırakılmalıdır.
- Oluşan bölgede, tahminen 1 mm' lik açık mavi bir halka oluşturan bir hale halini alır. 1mm' lik birikinti oluşması halinde, deney olumlu olarak değerlendirilir.
- Kirlilik oranı azaldıkça hale oluşur. Killi malzemelerin boya adsorbsiyonunu bitirmeleri biraz zaman alır. Hale zaman geçtikçe kaybolabilir. Bu nedenle, leke deneyine boya eklenmeden 1 dakika sürelerle 5 dakika arayla tekrarlanıp, dönüm noktası tayin edilmiş olur.

Süspansiyonun Hazırlanması:

- (500 ± 5) ml'lik saf su, behere yerleştirilir. Etüvde kurutulmuş deney numunesi bolca karıştırılarak behere konur.
- Boya karışımı çalkalanıp iyice karıştırılır. Büret, boya çözeltisine doldurulur. Karanlık bir yerde saklanır.
- Pervaneli karıştırıcı, 600 devir/dakika olacak şekilde ayarlanır ve pervane, beher altından yaklaşık 10 mm yüksekte olacak şekilde konumlandırılır.

- Karıştırıcı çalıştırılır ve süre kronometre yardımıyla beherdeki malzeme ilk önce 5 dakika zamanla (600 ± 60) devir/dakika, sonra deney süresi boyunca devamlı olarak (400 ± 40) devir/dakika sabit hızda karıştırılır.

Deneyin Yapılışı:

- Süzgeç kâğıdının yüzeyi düzgün bir yüzey olacak şekilde konumlandırılır.
- (600 ± 60) devir/dakika hızda 5 dakika zaman zarfında karışması beklenir. Daha sonra behere 5 ml boya karışımı eklenir. Beher içindeki deney malzemesi, (400 ± 40) devir/dakika hızda en az 1 dakika olacak şekilde karıştırılır ve süzgeç kâğıdı üzerinde çubuk yardımıyla leke deneyi uygulanır.
- Halenin görülmemesi neticesinde görülünceye kadar karıştırılıp boya ilavesi ile birlikte leke deneyleri yapılmasına devam edilir.
- Hale görülmesi aşamasında boya çözelti karışımı eklenmesi yapılmadan karıştırmaya deneye devam edilir. 1 dakika aralıklarla çubuk yardımıyla leke deneyleri tekrar edilir.
- Hale, ilk 4 dakika sonunda yok oluyorsa, 5 ml daha boya karışım çözeltisi ilave edilir. Beşinci dakika sonunda kaybolursa, 2 ml boya karışım çözeltisi ilave edilir.
- 5 dakika süreyle bozulmadan kalan bir hale oluşturmak için ilave edilen boya karışım çözeltisinin toplam hacmi, 1 ml olacak şekilde kaydedilir.

Metilen Mavisi miktarı (MB), aşağıdaki formül ile bulunur:

$$MB = \frac{V1}{M1} \times 100 \quad (4.1)$$

M1: Hazırlanan deney numunesi kısmının kütlesi, g,

V1: İlave edilen boya karışım çözeltisinin hacmi, ml'dir.

4.2.6. Tane Şekli Tayini- Yassılık Endeksi Deneyi (TS EN 933-3)

Bu standart, tip deneyi için ve ihtilaf durumunda agregaların yassılık endeksinin tayini için kullanılan referans yöntemi kapsar. Malzeme çapı 4 mm den küçük ve 100 mm den

büyük olan agregalara bu yöntem uygulanmaz. Verilen çaplara sahip paralel silindirik çubuklu olan elekler, çubuklar arası açıklığın miktarları, toplam açıklık miktarınca aynı olarak devam etmelidir.

Deney numunesi kısımlarının hazırlanması:

- Laboratuvarda hazırlanan numune, EN 932-2'ye uygun olacak şekilde azaltılmalıdır.
- Hazırlanan deney numunesi kısmının kütlesi, EN 933-1'de belirtildiği gibi olmalıdır.
- Deney numunesi miktarı, $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ' ta değişmeyen kütleye ulaşıncaya kadar kuruma işlemi yapılır. Soğumaya bırakılır, tartım işlemi yapılır ve kayıt altına alınır.

İşlem:

- Deney elekleriyle eleme yukarıda verilen uygun aralıkta elekler kullanılarak, EN 933-1'de belirtildiği gibi deney numunesi kısmı elekten geçirilir.
- 4 mm elek açıklığından geçen ve 100 mm' lik elekte kalan bütün agregalar tartılır. Her bir malzeme aralığındaki (d_i/D_i) bütün agregalar tartılır ve ayrı olacak şekilde saklanır.
- Çubuklu eleklerle eleme Deney elekleri ile her bir tane büyüklüğü aralığı (d_i/D_i), uygun çubuklu elekten geçirilir. Bu eleme işlemi elle veya mekanik olarak gerçekleştirilebilir ve bu işlem mutlak ayrılmayı sağlamalıdır.
- Hesaplama ve sonuçların gösterilmesi sonuçlar, deney veri çizelgelerine kaydedilmelidir. Tane büyüklüğü aralıklarının (d_i/D_i) kütleleri toplamı hesaplanır ve kaydedilir.
- Aralık genişliği $D_i/2$ olan uygun çubuk aralıklı elekten geçen, agrega büyüklüğü aralıklarının (d_i/D_i) her birinde yer alan tanelerin kütlelerinin toplamı bulunur ve kayıt altına alınır.

Toplam yassılık endeksi (FI), aşağıda görünen formül yardımıyla bulunur:

$$FI = \frac{M_{2 \times 100}}{M_1} \quad (4.2)$$

Burada; M1 Her bir agrega aralığındaki (d_i/D_i) tanelerin kütleleri toplamı (g), M2 Aralık genişliği $D_i/2$ olan belirtilmiş çubuklu elekten geçen, her bir tane büyüklüğü arasında yer alan tanelerin kütlelerinin toplamı (g) dır. Toplam yassılık endeksi (FI), bir tam sayı olacak şekilde yuvarlanarak kaydedilmelidir.

4.2.7. Los Angeles Deneyi (TS EN 1097-2)

Yapay ve tabii agregaların aşınma direncinin tayini için yapılır. Bu deneyle dane boyutu 10-14 mm arasındaki agregaların Los Angeles aşınma cihazı ile aşınmaya karşı mukavemeti bulunur.

Deneyde içi boşaltılmış, her tarafı kapalı bir silindir şeklinde olan makine içine agrega ile birlikte metal ağırlıklı küreler konularak, makine sabit bir hızla, belirli bir devirde olacak şekilde çalıştırılır. Bunun neticesinde malzeme üzerine metal kürelerin düşmesi sonucu aşınan malzemenin deney başında kaydedilen malzemeye göre ağırlıkça yüzdesi aşınma kaybı olarak bulunur.

Her biri 45 veya 49 mm arasında çapa sahip 11 adet küresel bilya, 400 g ila 445 g kütleyle sahiptirler. Tambur 31-33 devir/dakika arasında bir hızla 500 devir dönmektedir. 14 mm den geçen 10 mm elek üzerinde kalan agregalara uygulanır. Ancak deney numunesi aşağıdaki şartları sağlamalıdır. -12,5 mm elekten geçen agrega miktarı %60-%70 arasında veya -11,2 mm elekten geçen malzeme miktarı %30-%40 arasında olmalıdır.

Deney numunesi 5000 ± 5 gr olacak şekilde ayarlanmalıdır. Makinaya ilk önce bilyalar daha sonra da hazırlanan deney numunesi eklenir. Kapağı iyice kapatılır. Makina 31 dev/dk ile 33 dev/dk arasında belirli bir hızda 500 devir döndürülür.

Malzeme kaybının yaşanmaması için tepsinin hemen üzerine getirilen agregalar tepsiye dökülür. Makinenin tamburu temizlenir, ince tanelerin içinde ve çevresinde kalmamasına dikkat edilir. Agrega kaybının olmamasına özen gösterilecek şekilde bilyalar tepside bulunan agregalardan ayrılır.

Tepsideki malzeme, 1,6 mm' lik elek yardımıyla yıkanır ve eleme işlemine tabi tutulur. 1,6 mm elekte kalan miktar, $110 \pm 5^\circ\text{C}$.da ki etüvde sabit bir kütleyle varıncaya kadar kurutulur. Los Angeles değeri aşağıdaki formülle hesaplanır, sonuç tam sayıya yuvarlatılarak verilir. Şekil 4.8.'de Los Angeles deneyinin yapımına yer verilmiştir.



Şekil 4.8. Los Angeles Deneyi

$$LA = \frac{(5000-m)}{50} \quad (4.3)$$

4.2.8. Magnezyum Sülfat Deneyi (Donma-Çözülme Deneyi) (TS EN 1367-2)

Agregaların belirli aralıklarla magnezyum sülfata daldırılması ve bunun sonucunda etüvde kurutulması yolu ile uzun süre hava tesirlerine maruz kalan agregaların donma ve çözölmeye karşı mukavemetlerinin bulunmasında kullanılan hızlandırılmış bir deneydir. Agregada üzerinde oluşturulan bu etki, doğada kalması sonucu yaklaşık 500 donma ve çözölme olayına denktir.

Deneyde $MgSO_4$ çözöltisi kullanılmaktadır. Çözöltinin yoğunluğu $1,292 \pm 0,008$ g/ml olmalıdır. Çözöltinin sıcaklığı $20 \pm 20C$ olmalıdır. Deney 10 mm elek üzerinde kalan, 14 mm elekten geçen agregaya uygulanır.

Alınan bütün deney numuneleri $420 \pm 0,1$ gr ile $430 \pm 0,1$ gr arasında tartılır ve kütleleri kayıt edilir (M_1). Yıkayıp kurutulan numuneler tel sepetlere konur.

17 saat magnezyum sülfata daldırılır. Sonra çıkarılır 2 saat süzülür. Daha sonra 24 saat etüve atılır. Daha sonra etüvden çıkarılıp 5 saat laboratuvar sıcaklığına gelmesi için soğutulur. Bu döngü 5 defa tekrar edilir. Bu işlemler sonucunda yıkanır ve kurutulur. 10 mm ‘lik elek yardımıyla elle elenir ve agrega elek üzerinde kalan malzemenin kütlesi kaydedilir (M₂).

Hazırlanan bütün deney numunelerinin magnezyum sülfat değeri kütlece % olarak aşağıda verilen formüle göre hesaplanır.

$$MS = \frac{[100 \times (M_1 - M_2)]}{M_1} \quad (4.4)$$

Magnezyum sülfat çözeltisini hazırlamak için 3kg tuza 2 litre su eklenir 35 derecede karıştırılır. Şekil 4.9.’da magnezyum sülfat deneyinin yapım aşamaları verilmiştir.



Şekil 4.9. Magnezyum Sülfat Deneyi

4.2.9. Kum-Çakıl Karışımlarının Su İçeriği- Kuru Birim Ağırlık İlişkilerinin Bulunması

Kum-Çakıl malzemelerin kuru birim ağırlık-su içeriği durumunun bulunmasındaki maksat, bu malzemelerin bilinen bir sıkıştırma enerjisinde max. kuru birim ağırlığının ve optimum su içeriğini saptamaktır. Agregaların kuru birim ağırlık- su içeriği ilişkileri laboratuvarlarda üç ayrı yöntem ile tayin edilmesi Tablo 4.1.'de verilmiştir.

- Titreşimli Tokmak Metodu
- Modifiye Proktor Metodu
- Standart Proktor Metodu

Tablo 4.1. Standart ve Modifiye Proktor Deneylerinin Özellikleri (KGM,2019)

Deney Metodu	Standart	Proktor		Modifiye	Proktor
Kalıp Çap, mm	101.6	152.4		101.6	152.4
Yükseklik, mm	116.4	116.4		116.4	116.4
Hacim, cm ³	944	2124		944	2124
Tokmak Ağırlığı, kg	2.49	2.49		4.54	4.54
Düşüş Yüksekliği, mm	305	305		457	457
Çapı, mm	51	51		51	51
Tabaka Sayısı	3	3		5	5
Malzemenin Maksimum Dane Boyutu, mm	4.75	B:4.75 C:19 D19		4.75	B:4.75 C:19 D19
Sıkıştırma Enerjisi Darbe Miktarı	25	56		25	56
Enerji, Nm/m ³	5.9x10	5.9x10		2.7x10	2.7x10

a. Standart Proktor Metodu

Deneyi numunesi nemli ise ufalanabilecek duruma gelinceye kadar 60 °C ye kadar etüvde kurutulur. Daha sonra kullanılacak olan agreganın özelliği bozulmadan toprağın içerisindeki iri malzemeler lastik bir tokmak yardımıyla havanda ezilir. Malzeme 19 mm elekten elenir. Bu malzemedan yaklaşık 10 kg civarında alınır. Malzemenin cinsine göre su ile karıştırılır. Agregası su karışımı kalıbın yaka kısmı yerleştirilmiş 15,24 cm lik kalıpta 2,49 kg'lık tokmakla 3 eşit tabakada olacak şekilde ve her tabakaya 56 darbe vurulacak şekilde sıkıştırma işlemi yapılır. Sıkıştırmadan sonra ilave yaka çıkarılır ve çelik bir cetvelle düzeltilir. Kalıp + yaş numune tartılarak kaydedilir. Sıkıştırılan malzeme kalıptan çıkarılır. Deney malzemesinin tamamını kapsayacak şekilde rutubet tayini yapılmak üzere numune alınır. Alınması gereken numune kil yapısı mevcut olan malzemelerde 300 gr, kumlu-çakıllı malzemelerde 500 gr olacak şekilde alınmalıdır. Rutubet için alınan numuneler sabit ağırlığa ulaşınca kadar 110 °C lik etüvde kurutulur. Deney formuna işlenerek su içeriği bulunur. Bu işlen su artırılarak en az 5 defa tekrarlanmalıdır. Bulunan Maksimum kuru birim ağırlık-su içeriklerine göre grafik çizilerek Optimum Su İçeriği-Maksimum Kuru birim ağırlık değeri bulunmalıdır.

b. Modifiye Proktor Metodu

Deney numunesi nemli ise ufalanabilecek duruma gelinceye kadar 60 °C ye kadar etüvde kurutma işlemi yapılır. Agreganın temel yapısının bozulmasına imkan vermeden toprağın içindeki iri daneler lastik bir tokmak yardımıyla havanda ezilir. Malzeme 19 mm elekten elenir. Bu malzemedan yaklaşık 10 kg civarında alınır. Malzemenin cinsine uygun bir miktar su ile karıştırılır. Toprak su karışımı yaka kısmı takılmış 15,24 cm lik kalıpta 4,535 kg'lık tokmakla 5 eşit tabakada ve her tabakaya 56 darbe uygulanacak şekilde sıkıştırılır. Sıkıştırmadan sonra ilave yaka çıkarılır ve çelik bir cetvelle düzeltilir. Kalıp + yaş numune tartılarak kaydedilir. Sıkıştırılan malzeme kalıptan çıkarılır. Çıkarılan malzemenin tamamını kapsayacak şekilde rutubet tayin numunesi alınır. Rutubet için alınmış olan numuneler sabit ağırlığa gelinceye kadar 110 °C lik etüvde kurutulur ve deney formuna işlenerek su içeriği bulunur. Bu işlen su artırılarak en az 5 defa tekrarlanmalıdır. Bulunan Maksimum kuru birim ağırlık-su içeriklerine göre grafik çizilerek Optimum Su

İçeriği-Maksimum Kuru birim ağırlık değeri bulunmalıdır. Şekil 4.10.'da modifiye proktor metodu kullanılarak deneyin yapılışı verilmektedir.



Şekil 4.10. Modifiye Proktor Deneyi

İkame:

19,0 mm elek üstünde olan malzeme %30 dan çoksa optimum su içeriği-maksimum kuru birim ağırlığı 19 mm elek altına da uygulanmalıdır. Tayin edilen maksimum birim ağırlık değeri “Arazi de bulunan iri agreg a miktarına göre kuru birim ağırlık düzeltmesi” ne göre düzeltme yapılır.

19,0 mm elek üstünde ihtiva eden malzeme %10 dan az ise herhangi bir düzeltme yapılmadan 19 mm malzeme üzeri atılır ve deneye devam edilir.

19 mm elek üstünde kalan malzeme %10 dan fazla % 30 dan az ise, 19 mm elek üzerinde kalan malzeme 19,0-4,75 mm elek arasındaki malzemeye ilave edilerek aşağıdaki şekilde ikame yapılır. Malzemenin dane boyutu dağılımı Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Standart ve Modifiye Proktor Deneylerinin Özellikleri (KGM,2019)

Elek Açıklığı	37,5	19	9,5	4,75
% Geçen	100	73	64	49

4,75 elek üzerinde kalan malzeme : %51 4,75 – 19 mm arası malzeme : %24

19 – 9,5 mm arası malzeme : %9 9,5 – 4,75 mm arası malzeme : %15

19 mm-9,5 mm arası düzeltilmiş malzeme yüzdesi 9x51/24 : 19

9,5 mm-4,75 mm arası düzeltilmiş malzeme yüzdesi 15x51/24 : 32

4,75 mm altında malzeme yüzdesi : 49

Not: Ayrıca pratik olarak da yapılabilir. Malzeme ikiye ayrılır. Birinci kısım 19 mm elekten elenir, üstte kalanlar tartılarak atılır ve 19 mm elek altı malzeme saklanır. Diğer kısım ise 19,0 mm - 4,75 mm arasındaki malzeme kadar, bu aradaki malzeme miktarı kadar 19 mm üstünde kalan malzeme ilk hazırlanan numunenin 19,0 mm elek altına ilave edilir.

Not: Deneylerdeki başlangıç su içerikleri Tablo 4.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Standart ve Modifiye Proktor Deneyleri başlangıç su içerikleri (KGM,2019)

Deney Metodu	Malzeme Cinsi	Yaklaşık Uygulanan Başlangıç Su İçeriği
Standart	Kumlu- Çakıllı	%4 - %6
Standart	Kohezyonlu	%(PL-8) ile (PL-10)
Modifiye	Kumlu- Çakıllı	%3 - %5
Modifiye	Kohezyonlu	%(PL12) ile (PL-16)

c. Titreşimli Tokmak Metodu

Geçirgenliği yüksek granüler malzemelerin 37.5 mm elekten geçen miktarı için elverişlidir. Yapılacak deneyde malzeme elektrik yardımıyla çalışan titreşimli bir tokmakla, çapı 15.24 cm yüksekliği 11.64 cm olan kalıp içinde sıkıştırılır.

Açıkta kurutulan numune 37.5 mm'lik elekten geçirilir. Alta geçen malzemeden 6'şar kg'lık beş veya daha çok numune hazırlanır. Numune toprağın cins ve türüne göre belirli bir miktar su ile yeterince karıştırılır.

Son tabakanın sıkıştırılmasından sonra, gevşek malzeme numunenin yüzeyinden temizlenir. Numunenin ilave yaka ağzından olan derinliği kaydedilir. Kalıp, ilave yakası, taban plakası ve içindeki malzeme ile tartılır. Sıkıştırılmış zemin kalıptan çıkartılıp, tamamı su içeriği numunesi olarak alınır. 110°C fırında kurutularak su içeriği saptanır. Her defasında benzer işlemler yenilenir. Deney en az beş değer olacak şekilde yenilenir ve kullanılan su miktarları, maksimum kuru birim ağırlığı veren optimum su içeriğini oluşturan sınırlar içerisinde olmalıdır. Yapılan bir deney sonucunda bulunan kuru birim ağırlık (Yd) ve bunlara karşı olan su içeriği değerleri, bir grafik kağıdı üzerine noktalanır ve bu noktalardan geçirilen düzgün eğrinin tepe noktasından maksimum kuru birim ağırlık ve optimum su içeriği okunur.

ç. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR)

Yaş CBR' daki amaç malzeme boşluklarının tamamen su ile kaplandığı en düşük taşıma gücünün bulunmasıdır.

En az iki tane 6'şar kg'lık numune hazırlanır. Sıkıştırma metoduna göre (6")' lik CBR kalıbında sıkıştırılır. Su muhtevasına göre sıkıştırılır. Diskler yerleştirilip, süzgeç kağıdı konulup, numune istenilen metotla sıkıştırılır. Numune hazırlığı Şekil 4.11.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.11. CBR deneyinin hazırlanması.

Sıkıştırılma işleminden sonra üzeri sıyrılır ve tartım yapılır. Hazırlanan numune 96 saat suda bekletilir ve şişme değeri kaydedilir. Numunenin üstünde belirli oranda su yüksekliği olacak şekilde bekletilir. Sudan çıkarılan numune kalıpları suyunun süzülmesi için bekletilir. CBR makinesine deney numunesinin bilgileri ve ağırlıkları girilip deney başlatılır.

Penetrasyon pistonuna, hızı dakikada yaklaşık 1,25 mm olacak şekilde yük uygulanır. 0,625 mm -1,250 mm -1,825 mm -2,50 mm -5,00 mm -10,0 mm -12,50 mm penetrasyonlara karşı gelen yükler okunur. Deneyin yapılışı ve sonuçların alınması Şekil 4.11.'de görülmektedir.



Şekil 4.12. CBR deneyinin yapılışı

Normalde basınç-penetrasyon eğrisi konkav bir eğridir. Ancak yüzey pürüzlülüğü veya gevşeklik olduğunda önce konveks sonra konkav olabilir. penetrasyon noktaları 2,54 mm ve 5,08 mm ve bunlara karşılık gelen yeni basınç değerleri okunur.

$$\%CBR = \frac{\text{Düzeltilmiş Basınç}}{\text{Standar Basınç}} \times 100 \quad (4.5)$$

Genel olarak 2,54 mm batmaya kaşı gelen CBR değeri, taşıma oranı olarak alınır. Ancak iki deneyde 5,08 mm batmaya karşılık gelen CBR değeri daha büyük ise 5,08 mm batmaya karşılık gelen oran CBR değeri olarak alınır. Deney sonuçları ortama değerin % 10 ‘undan daha az sapma gösteriyorsa sonuçların ortalaması verilir. Değil ise deney tekrarlanmalıdır.

4 gün suda bekletme esnasında üzerine gösterge takılmış uçayaklı veya dairesel cihaz kalıbın üzerine yerleştirilir ve göstergenin sıfırda olarak ayarlanır. 4. Günün sonunda son gösterge değeri okunur ve şişme % si hesaplanır.

$$\text{Şişme} = \frac{\text{Islatma sonundaki kabarma miktarı (mm)}}{116,4 \text{ mm}} \quad (4.6)$$

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. İnşaat ve Yıkıntı Atığı Agrega Deneyleri

Elde edilen karışık inşaat ve yıkıntı atıklarının yolda kullanılabilirliğini bulmak için agrega deneyleri yapılmıştır. Malzemelerin öncelikli olarak gradasyonları belirlenmiştir. Karışık inşaat ve yıkıntı atıkların gradasyon ve fiziksel özellikleri Tablo 5.1. ve Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Karışık İYA gradasyonu

ELEK BOYUTU		0-50 mm (% geçen)
İnç	mm	
2	50	100
1 1/2	37,5	85
1	25	75
3 / 4	19	65
3 / 8	9,5	55
No 4	4,75	40
No 10	2	27
No 40	0,425	15
No 200	0,075	6

Deneysel çalışmalarda agrega olarak kullanılan inşaat ve yıkıntı atıklarının gradasyon ve fiziksel özellikleri aşağıda belirtilen standartlara göre yapılmıştır.

Tablo 5.2. KTS Agrega Deneyleri Fiziksel Özellik Standartları (KGM,2019)

Elek Analizi (gradasyon)	TS EN 933-1
Aşınma Kaybı (Los Angeles)	TS EN 1097-2
Yassılık İndeksi	BS 812
MgSO ₄ İle Donma Kaybı	TS EN 1367-2
Absorbisyon (Kaba Agrega)	TS EN 1097-6
Plastisite İndeksi	TS 1900-1
Metilen Mavisi	TS EN 933-9

Deney sonuçları incelendiğinde karışık haldeki inşaat ve yıkıntı atığı malzemesinin aşınma kaybı, absorbsiyon ve 0-50 mm boyutunun yassılık indeksi değerlerinin yüksek, hacim özgül ağırlık değeri değerinin ise düşük olduğu Tablo 5.3.'te görülmektedir. Malzemenin bu özellikleri göz önünde bulundurulduğunda alt temel ve Plent - Miks temel tabakalarında tek başına kullanımında sıkıntılar oluşacağı, asfalt tabakalarında kullanımının ise hemen hemen imkansız olduğu söylenebilir(Güngör vd.,2009).

Tablo 5.3. Karışık İnşaat Atığı Agregası Fiziksel Özellikler

DENEYLER	BİRİM	KAHRAMANMARAŞ KARIŞIK İYA	KARAYOLLARI TEKNİK ŞARTNAMESİ		
			ALT TEMEL	PLENT - MİKS TEMEL	BİTÜMLÜ TEMEL
AŞINMA KAYBI	%	36	Maks. 45	Maks. 35	Maks. 30
YASSILIK	%	40	Maks. 35	Maks. 30	Maks. 30
MgSO ₄ İle Donma Kaybı	%	20,8	Maks. 25	Maks. 20	Maks. 18
Absorbsiyon(Kaba Agrega)	%	6,9	Maks. 3,5	Maks. 3	Maks. 2,5
Tane Yoğunluğu (Kaba Agrega Hacim Özgöl Ağırlık)	gr/cm ³	2,221	–	–	–
Plastisite İndeksi	%	NP	Maks. 6	NP	NP
Metilen Mavisı	%	2,75	Maks. 4	Maks. 3	Maks. 2

5.2. Kalker Agregası Deneyleri

Çalışmada Elazığ Bölgesi taş ocaklarından elde edilen 0-5 mm, 5-12 mm 12-19 mm ve 19-37,5 mm ebatlarında magmatik kökenli dünit kalker agregaları kullanılmıştır. Agregaların deneyleri yapılmış ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Agregalara ait fiziksel özellikler Tablo 5.4.'te verilmiştir.

Tablo 5.4. Magmatik Kökenli Dunit Agregası Fiziksel Özellikleri

DENEYLER	BİRİM	ELAZIĞ BÖLGESİ AGREGASI	KARAYOLLARI TEKNİK ŞARTNAMESİ		
			ALT TEMEL	PLENT - MİKS TEMEL	BİTÜMLÜ TEMEL
AŞINMA KAYBI (LOS ANGELES)	%	9,1	Maks. 45	Maks. 35	Maks. 30
YASSILIK	%	9,2	Maks. 35	Maks. 30	Maks. 30
MgSO ₄ İle Donma Kaybı	%	5,7	Maks. 25	Maks. 20	Maks. 18
Absorbisyon (Kaba Agregası)	%	0,61	Maks. 3,5	Maks. 3	Maks. 2,5
Tane Yoğunluğu (Kaba Agregası Hacim Özgöl Ağırlık)	gr/cm ³	2,889	–	–	–
Plastisite İndeksi	%	NP	Maks. 6	NP	NP
Metilen Mavisi	%	1,25	Maks. 4	Maks. 3	Maks. 2

5.3. İYA ve Agregası Karışımlarının Tasarımı

Karışık haldeki inşaat ve yıkıntı atıkların yol katmanlarında kullanım oranlarını belirlemek için tasarım çalışmaları yapılmıştır. Tasarım çalışmalarına öncelikli olarak dolgu malzemesi karışımından başlanmış daha sonra üst tabakalara doğru çalışmaya devam edilmiştir. Dolgu malzemesi tasarımında tamamen 0-37,5 mm boyutundaki karışık haldeki inşaat ve yıkıntı atığı kullanılmıştır. Üst tabakalara doğru çıkıldıkça şartname sınır değerleri göz önünde bulundurularak karışım içerisindeki inşaat yıkıntı atığı oranı azaltılmıştır.

5.3.1. Dolgu Malzemesi Karışım Tasarımı

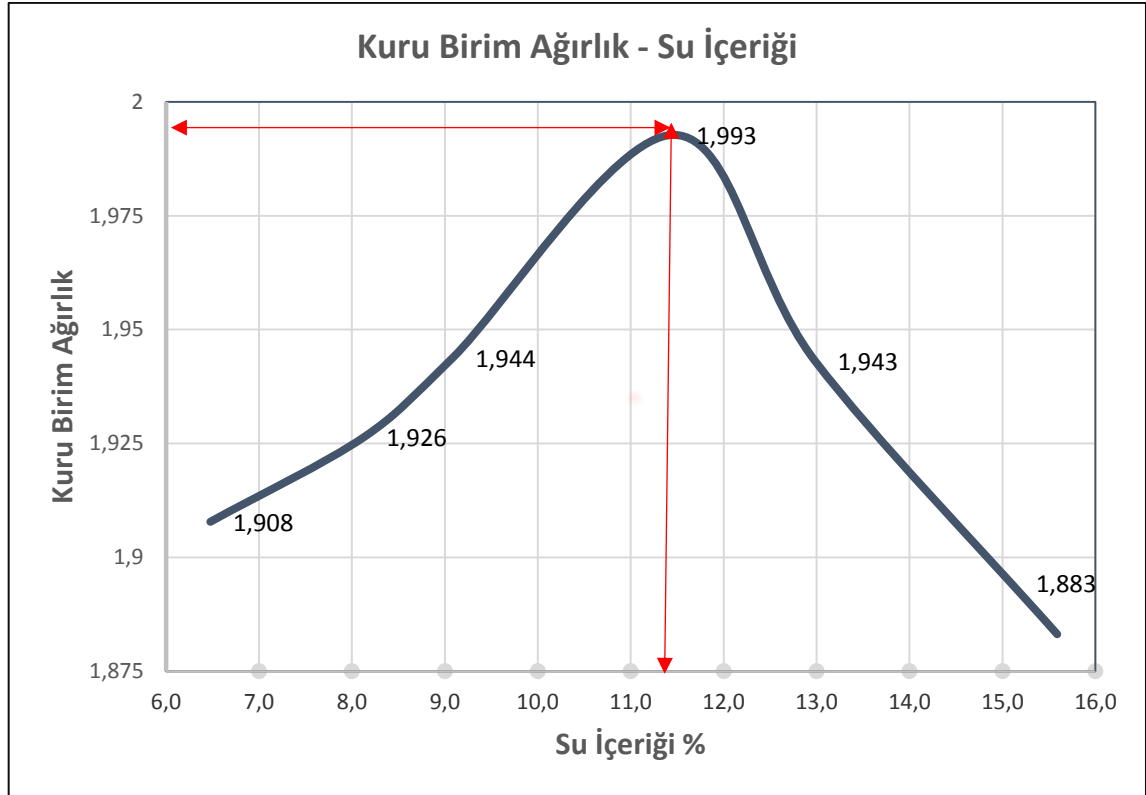
Dolgu malzemesi tasarımında tamamen karışık inşaat ve yıkıntı atığı kullanılmıştır. Karayolu teknik şartnamesi dolgu malzemesi için gradasyon sınır değerleri belirtmemiştir.

Bu aşamadan sonra dolgu malzemesi karışım tasarımı yapılmış ve gradasyonu ayarlanmıştır.

Karışımın kuru birim ağırlık-su içeriği ilişkileri TS 1900-1 standardı esas alınarak Modifiye Proktor metodu ile saptanmıştır. Optimum su içeriği ve optimum su içeriğinde bulunan maksimum kuru birim ağırlık deney sonucu aşağıda Tablo 5.5. ve Şekil 5.1.'de verilmiştir(TS 1900-1,2007).

Tablo 5.5. Dolgu Malzemesi Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriğinin Saptanması

Sıkıştırma Yöntemi	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş			
	4,5	5	56			
Kuru Birim Ağırlığının Saptanması						
Kalıp Numarası	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Kalıp+yaş numune ağırlığı (W2) g	10210	10320	10400	10615	10560	10520
Kalıp Ağırlığı(W1) g	5875	5875	5875	5875	5875	5875
Yaş Numune Ağırlığı(W2-W1) g	4335	4445	4525	4740	4685	4645
Kalıp Hacmi (V) cm³	2134	2134	2134	2134	2134	2134
Yaş birim ağırlığı(&=W2-W1/V) t/m³	2,031	2,083	2,120	2,221	2,195	2,177
Kuru birm ağırlığı(&d=100*&/(100+m)) t/m³	1,908	1,926	1,944	1,993	1,943	1,883
Su İçeriğinin Saptanması						
Kap no	1	2	3	4	5	6
Kap ağırlığı(W1) g	72,4	72,1	72,3	72,3	72,4	71,9
Kap+yaş numune ağırlığı(W2) g	245,0	261,0	264,4	255,1	248,2	284,7
Kap+kuru numune(W3) g	234,5	246,8	248,4	236,3	228,0	256,0
Su ağırlığı(Wm=W2-W3) g	10,5	14,2	16,0	18,8	20,2	28,7
Kuru numune ağırlığı(Wd=W3-W1) g	162,1	174,7	176,1	164,0	155,6	184,1
Su İçeriği (m=100*Wm/Wd) %	6,5	8,1	9,1	11,5	13,0	15,6



Şekil 5.1. Dolgu Malzemesi Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriği Grafiği

Modifiye proktor yöntemine göre hazırlanan Dolgu malzemesi dizayn karışımının;

Maksimum Kuru Birim Ağırlığı	:1,993 ton/m ³
Optimum Su İçeriği	:% 11,5
CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı)	:% 165
Pİ (Plastisite İndeksi)	:NP olarak bulunmuştur.

Yapılan dizayn sonucunda karışımın optimum su içeriği % 11,5 olarak bulunmuştur. Bu kadar yüksek bir değer bulunmasının sebebi ise inşaat ve yıkıntı atığının absorpsiyon değerinin yüksek olmasıdır. Karayolu Teknik Şartnamesinde CBR değerinin % 10'dan büyük olması istenmektedir. Dizayn çalışması sonucunda TS 1900-1'e göre hesaplanan CBR değeri %165 olarak bulunmuştur. Ek-1'de verilen şartname değerlerine göre bu sonuç oldukça yüksektir (TS 1900-1,2007).

Elde edilen sonuca göre inşaat ve yıkıntı atığı malzemesi dolgu tabakasına göre oldukça kalitelidir. Bu verilere göre inşaat ve yıkıntı atığı malzemesi dolgu tabakalarında kullanılan daha vasıfsız malzemeleri iyileştirmek için de kullanılabilir.

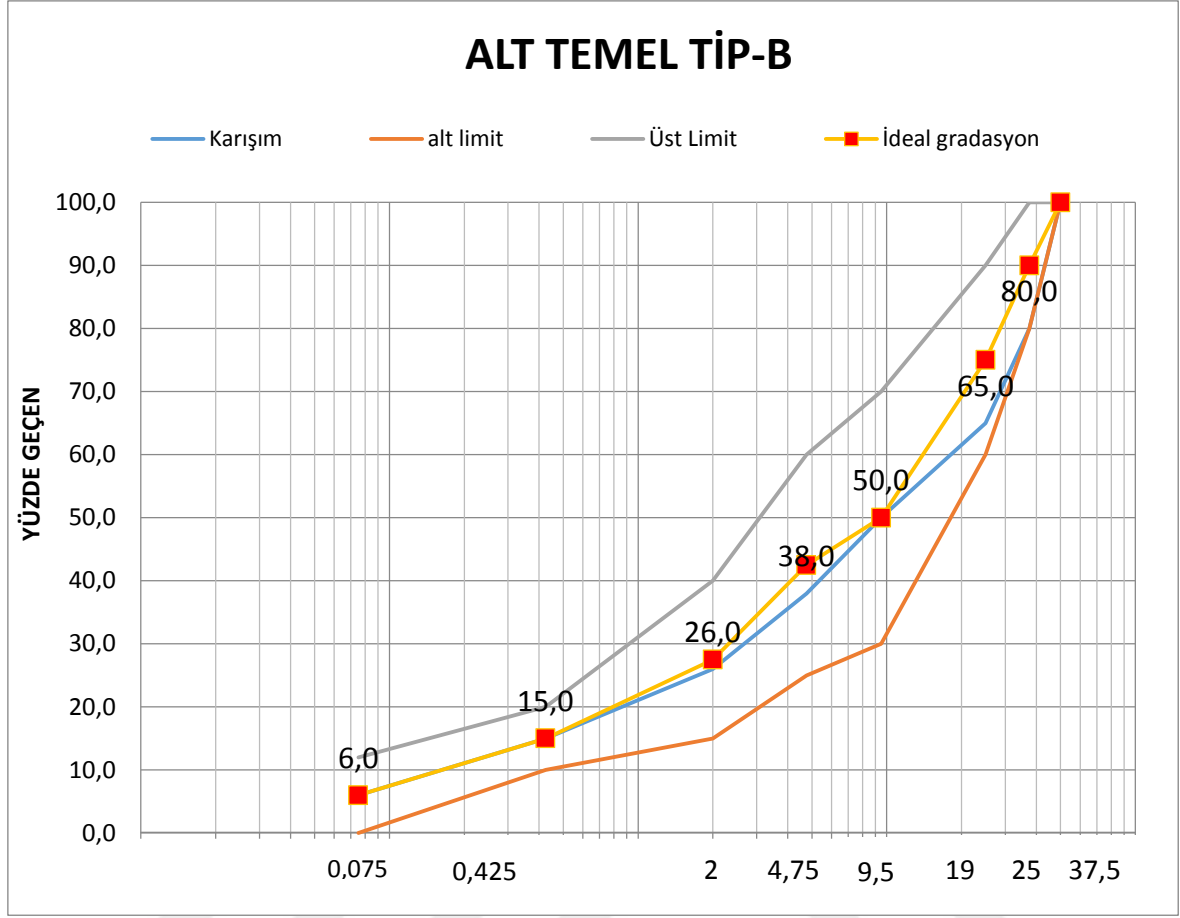
5.3.2. Alt Temel Malzemesi Karışım Tasarımı

Karışık haldeki inşaat ve yıkıntı atığı agrega özellikleri alt temel malzemesi Karayolu Teknik Şartnamesi sınır değerlerini karşılayamamaktadır. Malzeme, absorpsiyon ve yassılık indeksi deneyleri için şartname değerlerinin dışına çıkmaktadır. Bu nedenlerden dolayı alt temel dizaynında karışık haldeki inşaat ve yıkıntı atığına ilave olarak magmatik kökenli dünit agregası kullanılmıştır. Karayolu Teknik Şartnamesi gradasyon sınırları kapsamında karışım içinde mümkün olan en yüksek oranda inşaat ve yıkıntı atığı kullanılmıştır.

Alt temel karışım gradasyonu ve şartname limitlerini gösteren Tablo 5.6. ve Şekil 5.2’de aşağıda verilmiştir.

Tablo 5.6. Alt Temel Karışım Gradasyonu ve Malzeme Oranları.

ELEK BOYUTU		KARIŞIM GRADASYONU	KARAYOLLARI TEKNİK ŞARTNAMESİ ALT TEMEL TİP B		İDEAL
İnç	Mm				
50	2	100	100	100	100
37,5	1 ½	100	80	100	90
25	1	80	60	90	75
19	¾	65	45	80	62,5
9,5	3/8	50	30	70	50
4,75	No.4	38	25	55	40
2	No.10	26	15	40	27,5
0,425	No.40	15	10	20	15
0,075	No.200	6	0	12	6



Şekil 5.2. Alt Temel Tip B Karışım Gradasyon Grafiği

a. % 30 İYA ve % 70 Agrega İle Hazırlanan Alt Temel Karışım Tasarımı

Dizayn çalışmasından önce Alt Temel karışımına ait agregaya deneyleri yapılmıştır. Agregaya deneyleri sonucunda hazırlanacak olan dizayn karışımının Karayolları Teknik Şartnamesi Alt Temel değerlerini karşılayıp karşılamadığı görülmüştür. Karışımın agregaya fiziksel deney sonuçları Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7. Alt Temel %30 İYA ve %70 Agregâ Fiziksel Özellikleri

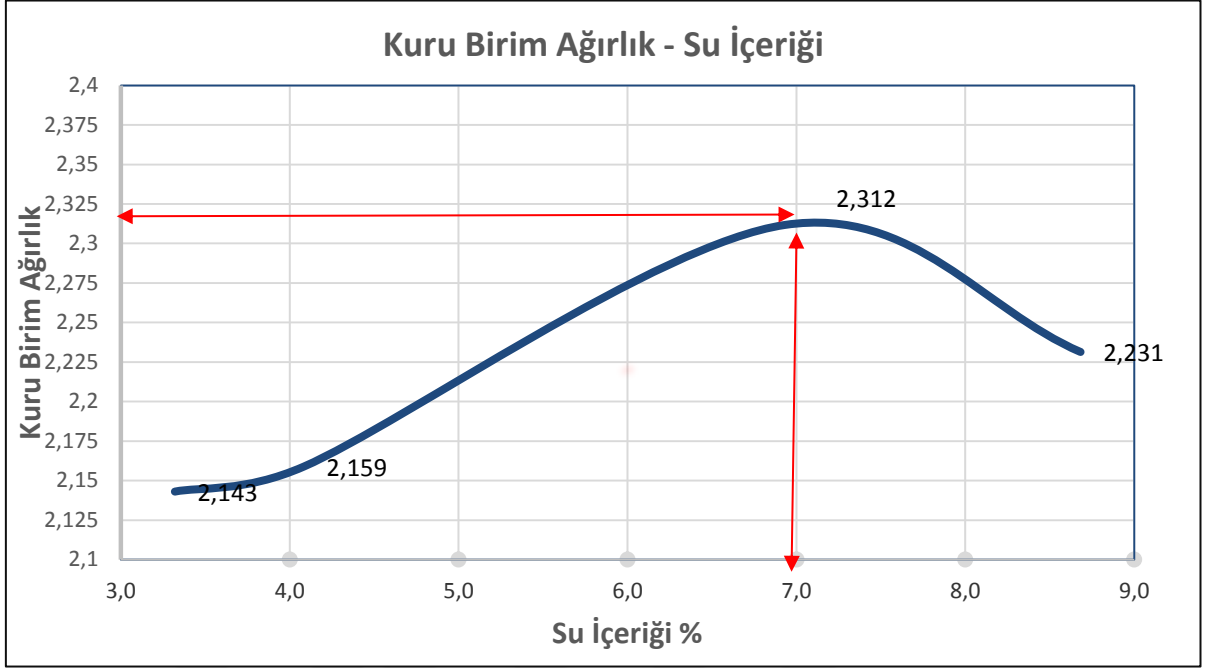
DENEYLER	BİRİM	ALT TEMEL %30 İYA % 70 AGREGA	KARAYOLLARI TEKNİK ŞARTNAMESİ	
			ALT TEMEL	PLENT - MİKS TEMEL
AŞINMA KAYBI (LOS ANGELES)	%	18,4	Maks. 45	Maks. 35
YASSILIK	%	22,6	Maks. 35	Maks. 30
MgSO ₄ İle Donma Kaybı	%	7,8	Maks. 25	Maks. 20
Absorbisyon (Kaba Agrega)	%	2,2	Maks. 3,5	Maks. 3
Tane Yoğunluğu (Kaba Agrega Hacim Özgöl Ağırlık)	gr/cm ³	2,654	–	–
Plastisite İndeksi	%	NP	Maks. 6	NP
Metilen Mavisi	%	1,75	Maks. 4	Maks. 3

Alt temel malzemesi agregâ fiziksel deney sonuçları incelendiğinde karışımın şartname limitlerini karşıladığı görülmüştür.

Karışımın kuru birim ağırlık-su içeriği ilişkileri TS 1900-1 standardı esas alınarak Modifiye Proktor metodu ile saptanmıştır (URL-5, 2019). Optimum su içeriği ve optimum su içeriğinde bulunan maksimum kuru birim ağırlık deney sonucu Tablo 5.8. ve Şekil 5.3.'te verilmiştir (TS 1900-1,2007).

Tablo 5.8. Alt Temel %30 İYA ve %70 Agrega Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriğinin Saptanması

Sıkıştırma Yöntemi	Tokmak (kg)	Tabaka	Vuruş	
	4,5	5	56	
Kuru Birim Ağırlığının Saptanması				
Kalıp Numarası	A1	A2	A3	A4
Kalıp+yaş numune ağırlığı (W2) g	10600	10670	11150	11050
Kalıp Ağırlığı(W1) g	5875	5875	5875	5875
Yaş Numune Ağırlığı(W2-W1) g	4725	4795	5275	5175
Kalıp Hacmi (V) cm³	2134	2134	2134	2134
Yaş birim ağırlığı(&=W2-W1/V) t/m³	2,214	2,247	2,472	2,425
Kuru birm ağırlığı(&d=100*&/(100+m)) t/m³	2,143	2,159	2,312	2,231
Su İçeriğinin Saptanması				
Kap no	1	2	3	4
Kap ağırlığı(W1) g	72,4	72,1	72,0	72,7
Kap+yaş numune ağırlığı(W2) g	268,5	276,0	271,0	293,0
Kap+kuru numune(W3) g	262,2	268,0	258,1	275,4
Su ağırlığı(Wm=W2-W3) g	6,3	8,0	12,9	17,6
Kuru numune ağırlığı(Wd=W3-W1) g	189,8	195,9	186,1	202,7
Su İçeriği (m=100*Wm/Wd) %	3,3	4,1	6,9	8,7



Şekil 5.3. Alt Temel %30 İYA ve %70 Agrega Malzemesi Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriği Grafiği

Modifiye proktor yöntemine göre hazırlanan % 30 İYA - % 70 Agrega Alt Temel malzemesi dizayn karışımının;

Maksimum Kuru Birim Ağırlığı	: 2,312 ton/m ³
Optimum Su İçeriği	: % 6,9
CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı)	: % 295
Pİ (Plastisite İndeksi)	: NP olarak bulunmuştur.

Dizayn sonucuna göre malzemenin optimum su içeriği % 6,9 gibi yüksek bir değer bulunmuştur. Bunun sebebi ise inşaat ve yıkıntı atığı malzemesinin su absorpsiyonunun yüksek olmasıdır. CBR değeri ise % 295 olarak bulunmuştur. Ek.2’de verilen standartlara göre bu değer oldukça yüksektir. Karayolu Teknik Şartnamesinde Tip B CBR için % 50’den büyük olması istenmektedir. CBR değerinin yüksek olması alt temel karışımının kalitesinin iyi olduğunun bir göstergesidir.

Alt temel tasarımında Karayolları Teknik Şartnamesinde verilen alt temel Tip B karışım gradasyonu şartname limitleri içinde çalışılmıştır. Karışımın hazırlanmasında ve sıkıştırma

kontrolünde Modifiye Proktor Metodu ile bulunan optimum su içeriği ve kuru birim ağırlık esas alınarak sıkıştırılan numunenin yaş CBR değeri bulunmuştur.

b. % 50 İYA ve % 50 Agrega İle Hazırlanan Alt Temel Karışım Tasarımı

Tasarım çalışmasından önce Alt Temel karışımına agregaya deneyleri yapılmıştır. Agregaya deneyleri sonucunda hazırlanacak olan tasarım karışımının Karayolları Teknik Şartnamesi Alt Temel değerlerini karşılayıp karşılamadığı görülmüştür. Karışımın agregaya deney sonuçları Tablo 5.9’da verilmiştir.

Tablo 5.9. Alt Temel %50 İYA ve %50 Agrega Fiziksel Özellikleri

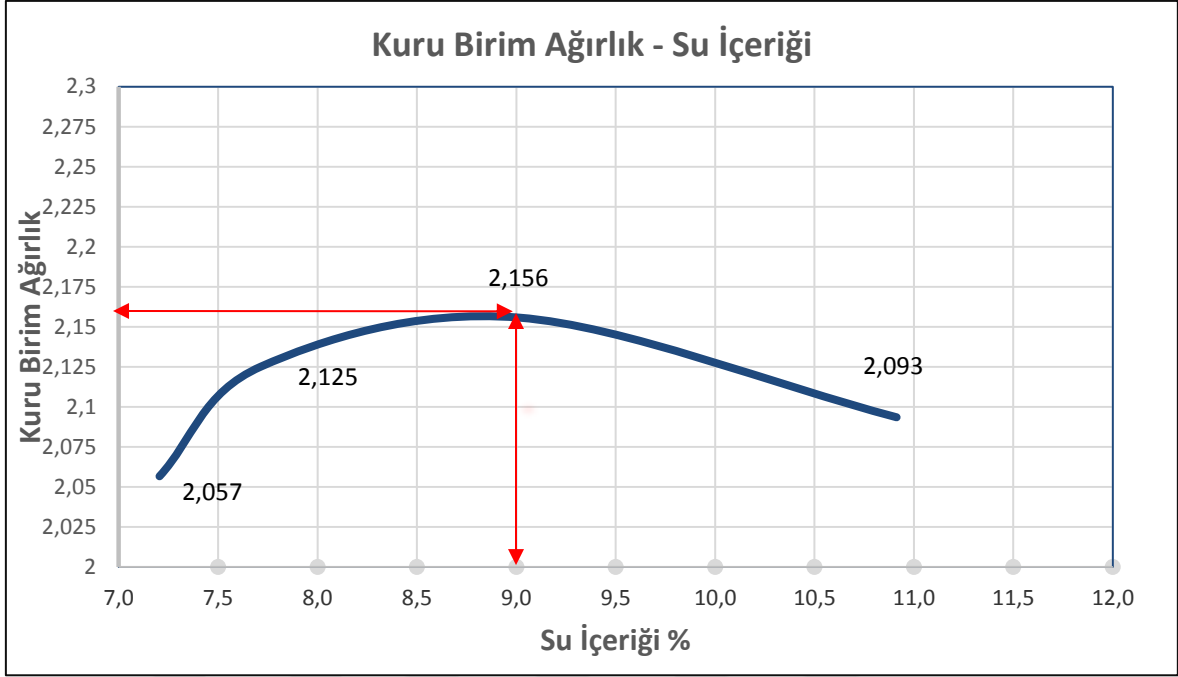
DENEYLER	BİRİM	ALT TEMEL %50 İYA % 50 AGREGA	KARAYOLLARI TEKNİK ŞARTNAMESİ	
			ALT TEMEL	PLENT - MİKS TEMEL
AŞINMA KAYBI (LOS ANGELES)	%	26,3	Maks. 45	Maks. 35
YASSILIK	%	31,7	Maks. 35	Maks. 30
MgSO₄ İle Donma Kaybı	%	11,5	Maks. 25	Maks. 20
Absorbisyon (Kaba Agrega)	%	3,44	Maks. 3,5	Maks. 3
Tane Yoğunluğu (Kaba Agrega Hacim Özgöl Ağırlık)	gr/cm ³	2,494	–	–
Plastisite İndeksi	%	NP	Maks. 6	NP
Metilen Mavisi	%	2	Maks. 4	Maks. 3

Alt temel malzemesi agrega deney sonuçları incelendiğinde karışımın Karayolları Teknik Şartnamesi Alt Temel şartname limitlerini karşıladığı görülmüştür.

Karışımın kuru birim ağırlık-su içeriği ilişkileri TS 1900-1 standardı esas alınarak Modifiye Proktor metodu ile saptanmıştır (URL-5, 2019). Optimum su içeriği ve optimum su içeriğinde bulunan maksimum kuru birim ağırlık deney sonucu Tablo 5.10. ve Şekil 5.4.'te verilmiştir(TS 1900-1,2007).

Tablo 5.10. Alt Temel %50 İYA ve %50 Agrega Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriğinin Saptanması

Sıkıştırma Yöntemi	Tokmak(kg)	Tabaka	Vuruş	
	4,5	5	56	
Kuru Birim Ağırlığının Saptanması				
Kalıp Numarası	A1	A2	A3	A4
Kalıp+yaş numune ağırlığı (W2) g	10580	10760	10890	10830
Kalıp Ağırlığı(W1) g	5875	5875	5875	5875
Yaş Numune Ağırlığı(W2-W1) g	4705	4885	5015	4955
Kalıp Hacmi (V) cm³	2134	2134	2134	2134
Yaş birim ağırlığı(&=W2-W1/V) t/m³	2,205	2,289	2,350	2,322
Kuru birm ağırlığı(&d=100*&/(100+m)) t/m³	2,057	2,125	2,156	2,093
Su içeriğinin saptanması				
Kap no	1	2	3	4
Kap ağırlığı(W1) g	71,8	72,0	71,8	72,2
Kap+yaş numune ağırlığı(W2) g	295,0	284,2	278,6	283,6
Kap+kuru numune(W3) g	280,0	269,0	261,5	262,8
Su ağırlığı(Wm=W2-W3) g	15,0	15,2	17,1	20,8
Kuru numune ağırlığı(Wd=W3-W1) g	208,2	197,0	189,7	190,6
Su İçeriği (m=100*Wm/Wd) %	7,2	7,7	9,0	10,9



Şekil 5.4. Alt Temel %50 İYA ve %50 Agrega Malzemesi Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriği Grafiği

Modifiye proktor yöntemine göre hazırlanan % 50 İya - % 50 Dünit Agrega Alt Temel malzemesi dizayn karışımının;

Maksimum Kuru Birim Ağırlığı	: 2,156 ton/m ³
Optimum Su İçeriği	: % 9
CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı)	: % 240
Pİ (Plastisite İndeksi)	: NP olarak bulunmuştur.

Dizayn sonucuna göre malzemenin optimum su içeriği % 9 gibi yüksek bir değer bulunmuştur. Bunun sebebi ise inşaat ve yıkıntı atığı malzemesinin su absorpsiyonunun yüksek olmasıdır. CBR değeri ise % 240 olarak bulunmuştur. Ek.3'te verilen şartname değerlerine göre bu değer oldukça yüksektir. Karayolu Teknik Şartnamesinde Tip B CBR için % 50 den büyük olması istenmektedir. CBR değerinin yüksek olması alt temel karışımının kalitesinin iyi olduğunun bir göstergesidir.

Alt temel dizaynı yapımında Karayolları Teknik Şartnamesinde verilen alt temel Tip B karışım gradasyonu şartname limitleri içinde çalışılmıştır. Karışımın hazırlanmasında ve sıkıştırma kontrolünde Modifiye Proktor Metodu ile bulunan optimum su içeriği ve kuru birim ağırlık esas alınarak sıkıştırılan numunenin yaş CBR değeri bulunmuştur.

c. % 70 İYA ve % 30 Agrega İle Hazırlanan Alt Temel Karışım Tasarımı

Dizayn çalışmasından önce Alt Temel karışımına ait agreg a deneyleri yapılmıştır. Agrega deneyleri sonucunda hazırlanacak olan dizayn karışımının Karayolları Teknik Şartnamesi Alt Temel değerlerini karşılayıp karşılamadığı incelenmiştir. Karışımın agreg a deney sonuçları Tablo 5.11’de verilmiştir.

Tablo 5.11. Alt Temel %70 İYA ve %30 Agrega Fiziksel Özellikleri

DENEYLER	BİRİM	ALT TEMEL %70 İYA % 30 AGREGA	KARAYOLLARI TEKNİK ŞARTNAMESİ	
			ALT TEMEL	PLENT - MİKS TEMEL
AŞINMA KAYBI (LOS ANGELES)	%	30,8	Maks. 45	Maks. 35
YASSILIK	%	35,4	Maks. 35	Maks. 30
MgSO ₄ İle Donma Kaybı	%	14,1	Maks. 25	Maks. 20
Absorbisyon (Kaba Agrega)	%	4,3	Maks. 3,5	Maks. 3
Tane Yoğunluğu (Kaba Agrega Hacim Özgöl Ağırlık)	gr/cm ³	2,411	–	–
Plastisite İndeksi	%	NP	Maks. 6	NP
Metilen Mavisi	%	2,25	Maks. 4	Maks. 3

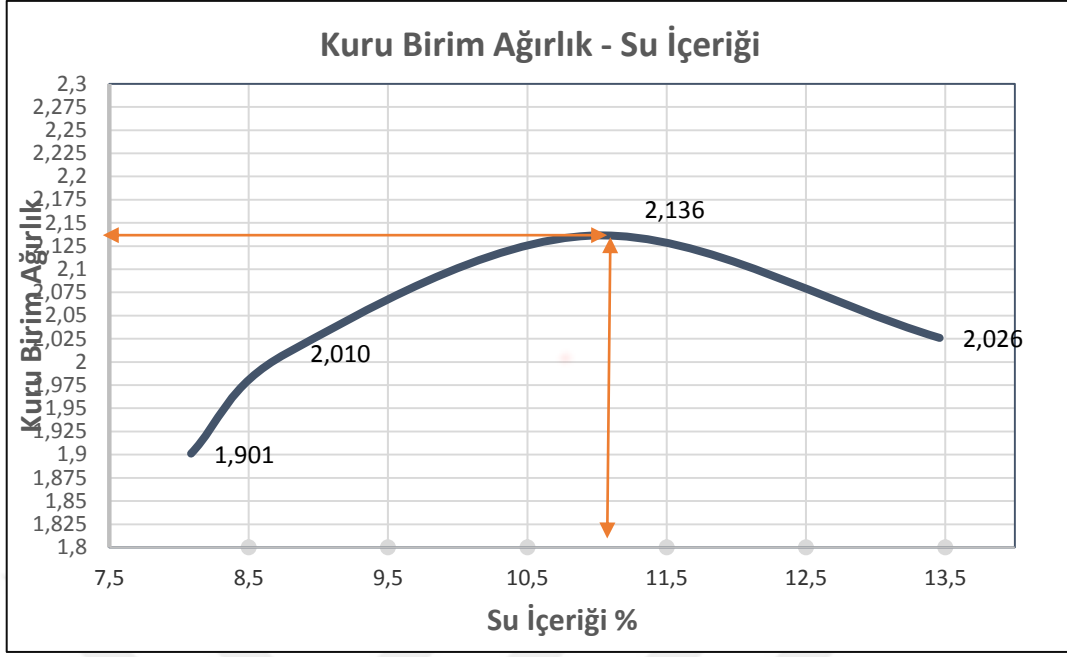
Alt temel malzemesi agreg a deney sonuçları incelendiğinde karışımın Karayolları Teknik Şartnamesi Alt Temel şartname limitlerini karşılamadığı görülmüştür.

Karışımın kuru birim ağırlık-su içeriği ilişkileri TS 1900-1 standardı esas alınarak Modifiye Proktor metodu ile saptanmıştır (URL-5, 2019). Optimum su içeriği ve optimum

su içeriğinde bulunan maksimum kuru birim ağırlık deney sonucu aşağıda Tablo 5.12 ve Şekil 5.5.'te verilmiştir (TS 1900-1,2007).

Tablo 5.12. Alt Temel %70 İYA ve %30 Agrega Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriğinin Saptanması

Sıkıştırma Yöntemi	Tokmak(kg)	Tabaka	Vuruş	
	4,5	5	56	
Kuru Birim Ağırlığının Saptanması				
Kalıp Numarası	A1	A2	A3	A4
Kalıp+yaş numune ağırlığı (W2) g	10260	10540	10935	10780
Kalıp Ağırlığı(W1) g	5875	5875	5875	5875
Yaş Numune Ağırlığı(W2-W1) g	4385	4665	5060	4905
Kalıp Hacmi (V) cm³	2134	2134	2134	2134
Yaş birim ağırlığı(&=W2-W1/V) t/m³	2,055	2,186	2,371	2,299
Kuru birm ağırlığı(&d=100*%/ (100+m)) t/m³	1,901	2,010	2,136	2,026
Su İçeriğinin Saptanması				
Kap no	1	2	3	4
Kap ağırlığı(W1) g	72,3	71,9	72,2	72,6
Kap+yaş numune ağırlığı(W2) g	291,5	295,0	288,3	306,1
Kap+kuru numune(W3) g	275,1	277,0	266,9	278,4
Su ağırlığı(Wm=W2-W3) g	16,4	18,0	21,4	27,7
Kuru numune ağırlığı(Wd=W3-W1) g	202,8	205,1	194,7	205,8
Su İçeriği (m=100*Wm/Wd) %	8,1	8,8	11,0	13,5



Şekil 5.5 Alt Temel %70 İYA ve %30 Agregası Malzemesi Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriği Grafiği

Modifiye proktor yöntemine göre hazırlanan % 70 İya - % 30 Dünit Agregası Alt Temel malzemesi dizayn karışımının;

Maksimum Kuru Birim Ağırlığı	: 2,136 ton/m ³
Optimum Su İçeriği	: % 11
CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı)	: % 214
Pİ (Plastisite İndeksi)	: NP olarak bulunmuştur.

Alt temel dizaynı yapımında Karayolları Teknik Şartnamesinde verilen alt temel Tip B karışım gradasyonu şartname limitleri içinde çalışılmasına rağmen Karayolları Teknik Şartnamesi Alt Temel fiziksel özellikleri şartname limitlerini karşılamadığından kullanımı uygun değildir (Ek.4).

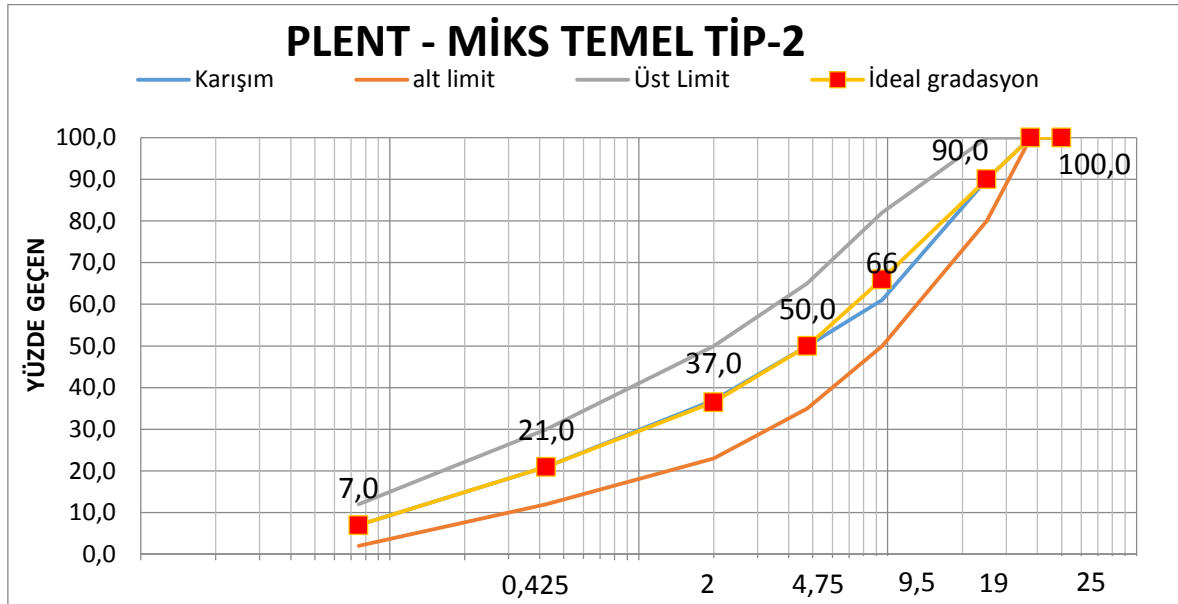
5.3.3. Plent - Miks Temel Malzemesi Karışım Tasarımı

Plent - Miks Temel dizaynında karışık inşaat ve yıkıntı atığına ilave olarak Mağmatik Kökenli Dünit Agregası kullanılmıştır. Karayolu Teknik Şartnamesi Plent - Miks temel Tip

2 gradasyonu sınırları kapsamında karışım içinde mümkün olan en yüksek oranda inşaat ve yıkıntı atığı kullanılmıştır. Plent - Miks Temel karışım gradasyonu ve şartname limitleri Tablo 5.13 ve Şekil 5.6’de verilmiştir.

Tablo 5.13. Plent Miks Temel Karışım Gradasyonu ve Malzeme Oranları

ELEK BOYUTU		KARIŞIM GRADASYON U	KARAYOLLARI TEKNİK ŞARTNAMESİ PLENT - MİKS TEMEL TİP 2		İDEAL
İnç	mm				
37,5	1 1/2	100	100	100	100
25	1	100	100	100	100
19	3/4	90	80	100	90
9,5	3/8	61	50	82	66
4,75	No.4	50	35	65	50
2	No.10	37	23	50	36,5
0,425	No.40	21	12	30	21
0,075	No.200	7	2	12	7



Şekil 5.6. Plent - Miks Temel Karışım Gradasyon Grafiği

a. % 40 İYA ve % 60 Agregası İle Hazırlanan PMT Karışım Tasarımı

Tasarım çalışmasından önce Plent - Miks Temel karışımına ait agregası deneyleri yapılmıştır. Agregası deneyleri sonucunda hazırlanacak olan tasarım karışımının Karayolları Teknik Şartnamesi Plent - Miks Temel değerlerini karşılayıp karşılamadığı incelenmiştir.. Karışımın agregası deney sonuçları Tablo 5.14.'te verilmiştir.

Tablo 5.14. PMT %40 İYA ve %60 Agregası Fiziksel Özellikleri

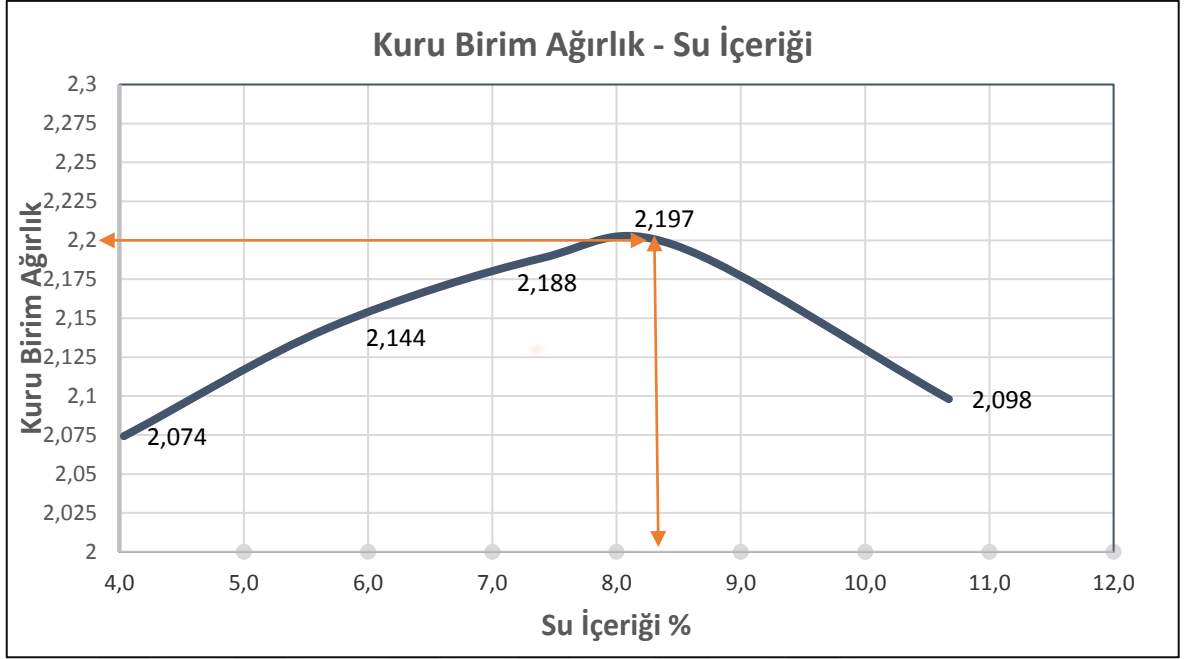
DENEYLER	BİRİM	%40 İYA %60 AGREGA PMT	KARAYOLLARI TEKNİK ŞARTNAMESİ	
			ALT TEMEL	PLENT MİKS TEMEL
AŞINMA KAYBI (LOS ANGELES)	%	25,1	Maks. 45	Maks. 35
YASSILIK	%	27,6	Maks. 35	Maks. 30
MgSO ₄ İle Donma Kaybı	%	9,2	Maks. 25	Maks. 20
Absorbisyon(Kaba Agregası)	%	2,91	Maks. 3,5	Maks. 3
Tane Yoğunluğu (Kaba Agregası Hacim Özgöl Ağırlık)	gr/cm ³	2,527	–	–
Plastisite İndeksi	%	NP	Maks. 6	NP
Metilen Mavisi	%	2,25	Maks. 4	Maks. 3

Plent - Miks Temel malzemesi agregası deney sonuçları incelendiğinde karışımın Karayolları Teknik Şartnamesi Plent - Miks Temel şartname limitlerini karşıladığı görülmüştür.

Karışımın kuru birim ağırlık-su içeriği ilişkileri TS 1900-1 standardı esas alınarak Modifiye Proktor metodu ile saptanmıştır (URL-5, 2019). Optimum su içeriği ve optimum su içeriğinde bulunan maksimum kuru birim ağırlık deney sonucu Tablo 5.14 ve Şekil 5.7'de verilmiştir(TS 1900-1,2007).

Tablo 5.15. PMT %40 İYA ve %60 Agrega Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriğinin Saptanması

Sıkıştırma Yöntemi	Tokmak(kg)	Tabaka	Vuruş		
	4,5	5	56		
Kuru Birim Ağırlığının Saptanması					
Kalıp Numarası	A1	A2	A3	A4	A5
Kalıp+yaş numune ağırlığı (W2) g	10480	10710	10890	10960	10830
Kalıp Ağırlığı(W1) g	5875	5875	5875	5875	5875
Yaş Numune Ağırlığı(W2-W1) g	4605	4835	5015	5085	4955
Kalıp Hacmi (V) cm³	2134	2134	2134	2134	2134
Yaş birim ağırlığı(&=W2-W1/V) t/m³	2,158	2,266	2,350	2,383	2,322
Kuru birim ağırlığı(&d=100* &/((100+m)) t/m³	2,074	2,144	2,188	2,197	2,098
Su İçeriğinin Saptanması					
Kap no	1	2	3	4	5
Kap ağırlığı(W1) g	72,0	71,6	71,8	71,7	71,9
Kap+yaş numune ağırlığı(W2) g	280,8	276,1	279,6	281,8	280,3
Kap+kuru numune(W3) g	272,7	265,1	265,3	265,4	260,2
Su ağırlığı(Wm=W2-W3) g	8,1	11,0	14,3	16,4	20,1
Kuru numune ağırlığı(Wd=W3-W1) g	200,7	193,5	193,5	193,7	188,3
Su İçeriği (m=100*Wm/Wd) %	4,0	5,7	7,4	8,5	10,7



Şekil 5.7. PMT %40 İYA ve %60 Agregası Malzemesi Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriği Grafiği

Modifiye proktor yöntemine göre hazırlanan % 40 İya - % 60 Dünit Agregası Plent - Miks Temel malzemesi tasarım karışımının;

Maksimum Kuru Birim Ağırlığı	: 2,197 ton/m ³
Optimum Su İçeriği	: % 8,5
CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı)	: % 192
PI (Plastisite İndeksi)	: NP olarak bulunmuştur.

Tasarım sonucuna göre malzemenin optimum su içeriği % 8,5 olarak bulunmuştur. Bu değer kalker agregası ile hazırlanan Plent - Miks temel karışımlarına göre çok yüksek değildir. CBR değeri ise % 192 olarak bulunmuştur. Ek.5'te verilen şartname değerlerine göre bu değer oldukça yüksektir. Karayolu Teknik Şartnamesinde Plent - Miks karışımı için CBR değerinin %120' den yüksek olması istenmektedir. CBR değerinin yüksek olması Plent - Miks temel karışımının kalitesinin iyi olduğunun bir göstergesidir.

Plent - Miks Temel tasarımında Karayolları Teknik Şartnamesinde verilen Plent - Miks Temel Tip 2 karışım gradasyonu şartname limitleri içinde çalışılmıştır. Karışımın hazırlanmasında ve sıkıştırma kontrolünde Modifiye Proktor Metodu ile bulunan optimum su

içeriği ve kuru birim ağırlık esas alınarak sıkıştırılan numunenin yaş CBR değeri bulunmuştur.

b. % 50 İYA ve % 50 Agregası İle Hazırlanan PMT Karışım Tasarımı

Tasarım çalışmasından önce Plent - Miks Temel karışımına ait agregası deneyleri yapılmıştır. Agregası deneyleri sonucunda hazırlanacak olan tasarım karışımının Karayolları Teknik Şartnamesi Plent - Miks Temel değerlerini karşılayıp karşılamadığı görülmüştür. Karışımın agregası deney sonuçları Tablo 5.15.'te verilmiştir.

Tablo 5.16. PMT %50 İYA ve %50 Agregası Fiziksel Özellikleri

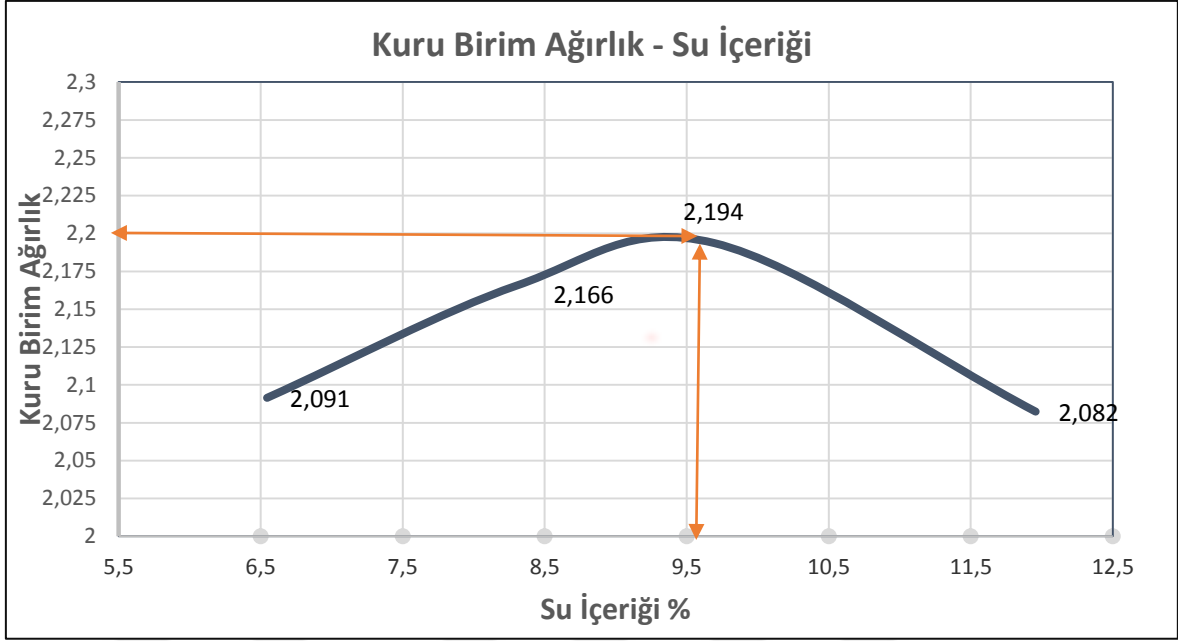
DENEYLER	BİRİM	%50 İYA %50 AGREGA PMT	KARAYOLLARI TEKNİK ŞARTNAMESİ	
			ALT TEMEL	PLENT - MİKS TEMEL
AŞINMA KAYBI (LOS ANGELES)	%	25,6	Maks. 45	Maks. 35
YASSILIK	%	31,5	Maks. 35	Maks. 30
MgSO ₄ İle Donma Kaybı	%	11,5	Maks. 25	Maks. 20
Absorbisyon(Kaba Agregası)	%	3,14	Maks. 3,5	Maks. 3
Tane Yoğunluğu (Kaba Agregası Hacim Özgöl Ağırlık)	gr/cm ³	2,582	–	–
Plastisite İndeksi	%	NP	Maks. 6	NP
Metilen Mavisi	%	2,25	Maks. 4	Maks. 3

Plent - Miks Temel malzemesi agregada deney sonuçları incelendiğinde karışımın Karayolları Teknik Şartnamesi Plent - Miks Temel şartname limitlerini karşılamadığı görülmüştür.

Karışımın kuru birim ağırlık-su içeriği ilişkileri TS 1900-1 standardı esas alınarak modifiye-proktor metodu ile saptanmıştır (URL-5, 2019). Optimum su içeriği ve optimum su içeriğinde bulunan maksimum kuru birim ağırlık deney sonucu Tablo 5.16 ve Şekil 5.8’de verilmiştir (TS 1900-1,2007).

Tablo 5.17. PMT %50 İYA ve %50 Agregada Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriğinin Saptanması

Sıkıştırma Yöntemi	Tokmak(kg)	Tabaka	Vuruş	
	4,5	5	56	
Kuru Birim Ağırlığının Saptanması				
Kalıp Numarası	A1	A2	A3	A4
Kalıp+yaş numune ağırlığı (W2) g	10630	10880	11010	10850
Kalıp Ağırlığı(W1) g	5875	5875	5875	5875
Yaş Numune Ağırlığı(W2-W1) g	4755	5005	5135	4975
Kalıp Hacmi (V) cm³	2134	2134	2134	2134
Yaş birim ağırlığı(&=W2-W1/V) t/m³	2,228	2,345	2,406	2,331
Kuru birim ağırlığı(&d=100*%/ (100+m)) t/m³	2,091	2,166	2,194	2,082
Su İçeriğinin Saptanması				
Kap no	1	2	3	4
Kap ağırlığı(W1) g	71,8	72,0	71,8	72,2
Kap+yaş numune ağırlığı(W2) g	283,4	279,4	280,0	281,0
Kap+kuru numune(W3) g	270,4	263,5	261,6	258,7
Su ağırlığı(Wm=W2-W3) g	13,0	15,9	18,4	22,3
Kuru numune ağırlığı(Wd=W3-W1) g	198,6	191,5	189,8	186,5
Su İçeriği (m=100*Wm/Wd) %	6,5	8,3	9,7	12,0



Şekil 5.8. PMT %50 İYA ve %50 Agrega Malzemesi Kuru Birim Ağırlık – Su İçeriği Grafiği

Modifiye proktor yöntemine göre hazırlanan % 50 İya - % 50 Dünit Agrega Plent - Miks Temel malzemesi tasarım karışımının;

Maksimum Kuru Birim Ağırlığı	: 2,194 ton/m ³
Optimum Su İçeriği	: % 9,7
CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı)	: % 145
Pİ (Plastisite İndeksi)	: NP olarak bulunmuştur.

Plent Miks Temel tasarımında Karayolları Teknik Şartnamesinde verilen Plent-Miks Temel Tip 2 karışım gradasyonu şartname limitleri içinde çalışılmasına rağmen Karayolları Teknik Şartnamesi Plent-Miks Temel fiziksel özellikleri şartname limitlerini karşılamadığından kullanımı uygun değildir (Ek.6).

5.4. Kahramanmaraş İlinde Kentsel Dönüşümden Çıkan Atık Molozların Maliyet Olarak İncelenmesi

5.4.1. İnşaat Yıkıntı Atıklarının İçerik Dağılımı

İnşaat yıkıntı atıklarının içerik dağılımı konusunda İSTAÇ'ın örnek alınarak yapıldığı (TÜBİTAK, 2014) çalışmasında İYA Geri Kazanım Tesisinde üretilen geri kazanılmış agregalar doğal agregaya ile aynı granülometriye getirilmiştir. İçindeki malzemeler seçilerek gruplara ayrılmış, ağırlıkları belirlenip oranlanmıştır. Bu oranlar Tablo 5.17'de gösterilmektedir. Ayrıca geri dönüştürülmüş agregaya içeriğinde çıkan malzemelerin resimleri de Şekil 5.9.'da gösterilmektedir (Çakır, 2012; Terzi, 2000).

Tablo 5.18. Geri Kazanılmış İYA İçeriği Oranları (İSTAÇ A.Ş., 2012).

GERİ KAZANILMIŞ İYA İÇERİĞİ ORANLARI	
Geri kazanılmış agregaya içeriği	%
Kırma Taş	67,75
Harç Parçaları	19,49
Tuğla Kırığı	4,87
Doğal Agregaya	1,93
Fayans Kırığı	1,85
Karo Mozaik	1,65
Mermer Kırığı	0,81
Kaba Sıva	0,45
Cam Kırığı	0,4
Gaz Beton	0,36
Alçı Parçacığı	0,29
Tahta Parçacığı	0,15



Şekil 5.9. Geri Dönüştürülmüş İYA İçeriğinde Çıkan Malzemeler (Çakır, 2012; Terzi, 2000).

5.4.2. Kentsel Dönüşüm Çalışmaları Sırasında Yıkılacak Tahmini Konut Sayısı

Kentsel dönüşüm çalışmaları sırasında Kahramanmaraş'ta yaklaşık 230.961 konutun yıkılması tahmin edilmektedir.

Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi tarafından 2018 yılında yapılan bina sayımı değerleri kullanılmıştır. Buna göre raporda belirtilen Kahramanmaraş'ta ilçelere göre bina dağılımı ve binaların kat sayıları incelendiğinde 2018 yılında toplam 73.103 adet bina olduğu görülmektedir. 2018 yılı verilerine göre Kahramanmaraş'taki 73.103 adet bina stokunun yaklaşık % 50'si betonarme, % 50'si de yığma yapılardan oluşmaktadır.

Kentsel dönüşüm sırasında 2007 Deprem Yönetmeliğinden önce yapılan binaların dönüşüme tabi tutulacağı kabulü ile toplam 230.961 konutun yıkılacağı tahmin edilmektedir.

5.4.3. Kentsel Dönüşüm Sırasında Yıkılacak Konutlardan Çıkacak Atık Miktarı

Yığma ve betonarme binaların yapımlarında kullanılan malzeme miktarları farklı oranlarda olduğundan, yıkım sonrası oluşacak atık miktarı da farklı olacaktır. Betonarme ve yığma binalarda m²'ye düşen tahmini İYA miktarları Tablo 5.18.'da verilmiştir (İSTAÇ, 2012; TÜBİTAK,2014; İMO,2019).

Tablo 5.19. Yığma ve Betonarme Binalarda M²'ye Düşen İYA Miktarı (İSTAÇ, 2012; İMO,2019).

YIĞMA VE BETONARME BİNALARDA M²'YE DÜŞEN İYA MİKTARI				
MALZEME	YIĞMA		BETONARMRE	
BETON	0,25	m ³ /m ²	0,38	m ³ /m ²
DEMİR	22	kg/m ²	34	kg/m ²
TUĞLA	0,2	m ³ /m ²	0,15	m ³ /m ²

Her bir bağımsız birimin ortalama 100 m² olduğu düşünülerek, 115.480 adet yığma ve 115.480 adet betonarme bağımsız birimin yıkılması sonucu oluşabilecek tahmini İYA miktarı hesaplanarak Tablo 5.19.'da verilmiştir.

Tablo 5.20. Kentsel Dönüşüm Sonrası Oluşacak Tahmini İYA Miktarı (İSTAÇ, 2012; İMO,2019).

KENTSEL DÖNÜŞÜM SONUCU OLUŞACAK TAHMİNİ ATIK MİKTARI			
İYA Türü	Yığma (ton)	Betonarme (ton)	Toplam Atık (ton)
Beton	6.351.400	10.531.776	16.883.176

Tablo 5.19.'da verilen değerlere göre Kahramanmaraş'ta uygulanan ve uygulanacak kentsel dönüşüm çalışmaları sırasında yıkılacak yaklaşık 230.961 bağımsız birimin yaklaşık olarak 16.883.176 ton İYA oluşması tahmin edilmektedir.

5.4.4. İYA'nın Yolda Kullanılması Açısından Maliyet Analizi

Tez çalışması kapsamında uygulaması yapılan İYA yol tabakalarının maliyet analizleri yapılmış ve çıkan sonuçlar, agrega ile hazırlanan karışımların maliyetleri ile karşılaştırılmıştır.

Maliyet analizlerinde İYA için iki tane analiz yapılmıştır. İlk analizlerde İYA'nın nakliye hariç olarak üretim tesisine nakledildiği varsayılmıştır. Diğer analizlerde ise İYA'nın sadece nakliye bedeli hesaplanmıştır. Nakliye bedeli fiyatlandırılması 20 km güzergah için ton başına 18,75 TL alınmıştır. Hesapların karşılaştırılmasında dikkate alınan agrega fiyatları, nakliye bedelini ve agrega bedelini de içermektedir (Tablo 5.20.).

Tablo 5.21. İYA ve Dünit Agrega Maliyetlerin Karşılaştırılması

MALİYETLERİN KARŞILAŞTIRILMASI		
Tabakalar	Dünit agregası	Karışık İYA
	Nakliye Hariç (TL/ton)	Nakliye Hariç (TL/ton)
Dolgu Tabakası	22,16	23,25
Alt Temel	41,68	38,75
Plent - Miks Temel	46,05	40,75

Maliyet sonuçlarına göre;

- Dolgu maliyet karşılaştırılması Şartnamelere uygun olacak şekilde hazırlanan agrega ile yapılmıştır. İYA ile yapılan dolgu tabakası maliyeti agrega ile yapılan dolgu maliyetinden düşük bulunmuştur. Kahramanmaraş şartlarında dolgu yapılması piyasası çok fazla değişkenlik göstermektedir.
- İYA ile hazırlanan alt temel karışım tasarım maliyeti, agrega ile hazırlanan alt temel malzemesi maliyetinden daha düşük bulunmuştur.
- İYA ile hazırlanan Plent - Miks temel karışım tasarım maliyeti agrega ile hazırlanan Plent - Miks temel tasarım maliyetinden daha az bulunmuştur.

- Alttemel ve Plent - Miks Temel tabakalarında, İYA’ nın nakliye bedeli dahil maliyet analizi, agrega ile yapılan maliyet analizinden daha düşük çıkmıştır.
- Yapılan maliyet karşılaştırmaları neticesinde inşaat ve yıkıntı atıklarının hiç bedel ödenmeden Dolgu, Alttemel ve Plent - Miks Temel tabakalarında uygulanması daha avantajlı görünmektedir.

Çalışmalar neticesinde ortaya çıkan maliyet analizleri değerlendirilerek, Çevre ve Şehircilik Bakanlığının belirlediği inşaat ve yıkıntı atıklarını, ilgili firmalar tarafından kullanımına özendirilmelidir. Bu konuda yatırım yapacak ve kullanım sağlayacak firma ve şirketlere vergi avantajları getirilmeli ve bu malzemelerin kullanımı teşvik edilmelidir.



6. SONUÇLAR

İnşaat sektörünün temel hammaddesi olan agregalara duyulan ihtiyaç, son yıllarda giderek artmaktadır. Agregada üretim faaliyetleri sırasında yaşanan problemlerin artması ve kaynakların doğru kullanılamaması sonucu tükenme tehlikesi ile karşı karşıya kalınmıştır. Bu da alternatif malzemelerin araştırılması sürecini hızlandırmaktadır. Ancak her mineral kökenli malzeme veya endüstriyel atık, istenen özellikleri sağlamadığı için agregada yerine kullanılamamakta ve yapılan çalışmaları sınırlamaktadır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar;

1. Karışık haldeki inşaat yıkıntı atığının aşınma kaybı, su emme ve yassılık indeksi değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Malzemelerin bu özellikleri göz önünde bulundurulduğunda asfalt tabakalarında kullanılmayacağı söylenebilir.
2. İnşaat yıkıntı atığının su emme kapasitesinin çok yüksek olması nedeniyle bitümlü karışımlarda kullanılan bitümün miktarının kırmataş ile yapılan bitümlü karışımlardan oldukça fazla olacağının bir belirtisidir.
3. Yapılan tasarımlar sonucunda inşaat yıkıntı atığının dolgu malzemesi dışında diğer tasarımların hiçbirinde tek başına % 100 oranında kullanılamaması saptanmıştır.
4. Dolgu, Alt Temel ve Plent - Miks Temel tasarımları neticesinde optimum su içeriği çok yüksek bulunmuştur. Bunun ana sebebi ise inşaat malzemesinin su emme değerinin yüksek olmasıdır.
5. Dizayn çalışması sonucunda CBR değerleri % 165 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar oldukça yüksektir. Çıkan sonuçlara göre inşaat yıkıntı atığı malzemesi dolgu tabakasına göre oldukça kalitelidir. Bu verilere göre inşaat yıkıntı atığı malzemesi dolgu tabakalarında kullanılan daha vasıfsız malzemeleri iyileştirmek için de kullanılabilir.
6. Alt Temel karışımlarının CBR değerleri ise % 295, % 240 ve % 215 olarak oldukça yüksek bulunmuştur. Karayolu Teknik Şartnamesinde Alt Temel Tip B malzemesi CBR değeri için %50 den büyük olması istenmektedir. CBR değerinin yüksek olması alt temel karışımının kalitesinin iyi olduğunun bir göstergesidir.
7. Plent - Miks Temel karışımlarının CBR değerleri ise % 192 ve % 145 olarak bulunmuştur. Karayolu Teknik Şartnamesinde Plent - Miks Temel Tip 2 karışımı için CBR değerinin % 120'den yüksek olması istenmektedir. CBR değerinin

yüksek olması Plent - Miks temel karışımının kalitesinin iyi olduğunun bir göstergesidir.

8. Yapılan fizibilite etüt sonuçlarına göre piyasaya arz edilecek Geri Kazanılmış inşaat yıkıntı atık maliyeti ortalama 15,58 TL/ton olarak hesaplanmıştır. Bu durumda endüstriyel uygulamalarda kullanılan doğal agrega fiyatının (2018 Yılı İçin) 23-40 TL/ton olduğu göz önüne alındığında, ekonomik bir “yapılabilirlik” olduğu anlaşılmaktadır.
9. Laboratuvar ölçekli deneysel çalışma sonucunda elde edilen optimum inşaat yıkıntı atığı kullanım oranları dikkate alınarak yapılan fizibilite hesabına göre, inşaat yıkıntı atığının malzeme ve nakliye bedeli alınmaması durumunda inşaat yıkıntı atıkların yeniden kullanılması fizibl görünmektedir. Nakliye mesafesinin durumuna göre bazı sektörlerde de fizibl sonuç elde edilmektedir.
10. İnşaat yıkıntı atıklardan geri kazanılacak malzemelerin yol sektörlerinde “ikincil hammadde” olarak kullanılmasının teknik olarak uygulanabilir olduğu görülmüştür. İnşaat yıkıntı atık tasarımlarımızın halen ülkemizde yürürlükte olan standartlar açısından yeterli performansı sağladığı belirlenmiştir.

7. ÖNERİLER

Geri Kazanılmış inşaat yıkıntı atığı için hesaplanan ortalama maliyet sadece karışık haldeki atıklar için geçerlidir. İnşaat yıkıntı atığının kaynağında ayrıştırılmasının maliyet fizibilitesine etkisinin araştırılması gereklidir.

Çalışmada ortaya çıkan sonuçlar neticesinde, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından inşaat yıkıntı atıklarının kullanımını özendirmek için kullanıcıya veya yatırımcıya vergi avantajları getirilmeli ve bu malzemelerin kullanımı teşvik edilmelidir.

Kentsel dönüşüm, afet ve yenileme faaliyetleri sonucunda oluşan inşaat ve yıkıntı atıklarının çevre ile uyumlu ve kaynakların sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi için ciddi şekilde mevzuat çalışması yapılması gereklidir. İnşaat yıkıntı atıkların geri kazanılması, ikincil ürünlerin üretilmesi ve ikincil ürünlerin öncelikli kullanılması temel esas olmalıdır.

İnşaat yıkıntı atıklarının kirletilmeden geri kazanılması ve ikincil ürün olarak kullanılabilmesi için seçici yıkım yapılması ve inşaat atıklarının kaynakta ayrıştırılması temel esas olmalıdır.

“Seçici yıkım” uygulaması ile desteklenmediği ve atığın kaynağında ayrıştırılması sağlanamadığı sürece “tedarik zincirinde” aksamalar yaşanacak; daha stabil, daha tutarlı, daha güvenilir ve daha kaliteli malzeme temini sağlanamayacaktır.

Sistemin etkin bir şekilde işletilebilmesi için kamu-özel sektör işbirliği temelinde AR-GE projeleri ile desteklenen bir geri kazanım sistemi ve bu sistemin koordinasyon içinde sürdürülebilirliği esas alınmalıdır

Böylece atıkların yeniden değerlendirilmesiyle hem ekonomik kazanç elde edilecek, hem de depolama maliyetlerinden tasarruf edilmiş olacaktır. Ayrıca en önemli bir başka avantaj ise doğal kaynakların korunarak gelecek nesillere aktarılmış olmasıdır.

İnşaat yıkıntı atığı geri kazanılarak;

- Enerji kaynaklarının verimli kullanılması,
- Suların ve toprakların kirletilmemesi,
- Yeni iş alanlarının oluşması,
- Geri kazanım tesisleri kurulması ve geri dönüşüm sanayisinin oluşturulması,
- Her geri kazanılacak inşaat ve yıkıntı atığı, aynı oranda doğal kaynağın korunması anlamına gelecektir.

KAYNAKLAR

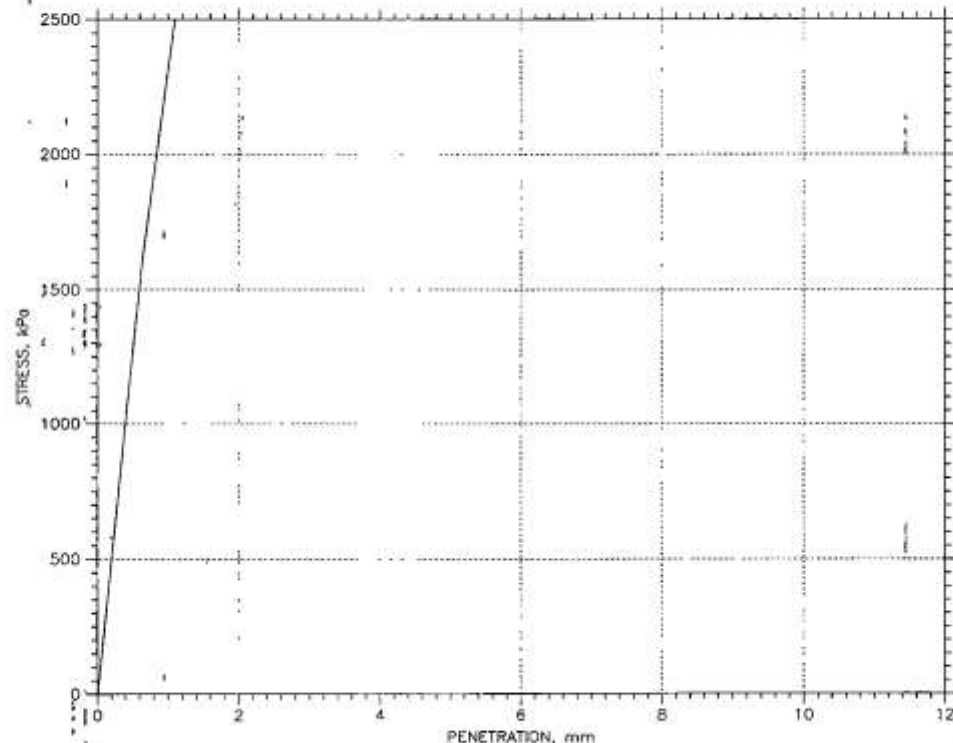
- Acar, S.O. ve Tapkın, S.,** 1998. Portland çimentosu kullanılarak hazırlanan Marshall numunelerinin özelliklerinin incelenmesi, 2. *Ulusal Asfalt Sempozyumu*, Ankara, s. 95.
- Akpınar, A.F.,** 2005. Asfalt kırığı agregalı betonların mekanik özellikleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Asphalt Institute,** 2006. Asphalt concrete cold recycling user guide, p. 55.
- Bansci, J.J., Benedek, A., Emery, J.J. ve Lawrence, J.,** 1980. The leaching of toxic organic compounds from solid wastes, *EPA National Conference on Management of Uncontrolled Waste Sites*, p. 173.
- Bayraktar, E.,** 2003, Kentleri Yenilemek, *Konut Dergisi*, **18**,29-41.
- Çakır, Ö.,** 2012, Geri Kazanılan Agregaların Beton Üretiminde Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *İBB Projem İstanbul Araştırma Projesi*, İstanbul.
- Decker, D.S. ve Young, T.J.,** 1996. Handling RAP in an HMA facility, *Proceedings of the Canadian Technical Asphalt Association*, p. 187.
- Demir, İ. ve Orhan, M.,** 2003, Reuse of waste bricks in the production line, *Building And Environment*, 38,1451-55.
- Deniz, M.T., Sönmez, İ., Yıldırım, S. A. ve Eren, B. K.,** 2005. Kullanılmış otomobil lastiklerinin bitümlü sıcak karışım performansına etkisi, 6. *Ulaştırma Kongresi*, İstanbul, s. 349.
- Erdoğan, D., Kayalar A.Ş., Altun, S. ve Göktepe, A.B.,** 2005, Turgutlu tuğla ve kiremit fabrikaları katı atıklarının geoteknik özellikleri, *Geoteknik sempozyumu*, 409-424, 26-27 Ekim, Adana.
- Güngör, G.,A., Orhan, F., Kaçak, S., Çalışkol, A. ve Yönter, G.,** 2009, Kazınmış asfalt kaplamaların yeniden kullanımı KGM uygulamaları, 5. *Ulusal Asfalt Sempozyumu ve Sergisi*, Ankara.
- Güngör, M.M.,** 1996. Afşin-Elbistan uçucu külünün esnek yol kaplamalarında filler olarak kullanımı üzerine bir araştırma. *Yüksek Lisans Tezi*. Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Hanks, A.J. ve Magni, E.R.,** 1989. The use of bituminous and concrete material in granular base and earth, *Materials Information Report*, p. 68.

- İMO**, 2019. Yapı Yaklaşık Maliyet Hesabı, Ankara.
- İSTAÇ A.Ş.**, 2012, İnşaat-yıkıntı atıklarının ve hafriyat yönetimi planlarının hazırlanması işi raporu MNE çevre, İstanbul.
- Jon, A.**, 1990. Cold recycled bituminous concrete using bituminous materials, Synthesis of Highway Practice, p. 160.
- KBB**, 2013. Faaliyetlere ilişkin bilgi ve değerlendirme, Kocaeli büyükşehir belediyesi faaliyet raporu, Kocaeli, Türkiye.
- KGM**, 2019. Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü, Araştırma ve Geliştirme Başmühendisliği, Araştırma Teknisyenliği Geliştirme Kursu Ders Notları, Ankara.
- Kılıç, N.**, 2012, Kentsel Dönüşümde Geri Dönüşüm Atağı, AR-GE Bülten Sektörel, İzmir Ticaret Odası, Aralık 2012.
- Krietch, A.J.**, 1991. Evaluation of RAP as clean fill. *Asphalt Institute*, p. 8.
- Önal, M.T.**, 2009, Yapısal atıkları azaltma yönünde Türkiye koşullarına uygun yapı yıkım yönetim sisteminin belirlenmesi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze.
- Senior, S.A., Szoke, S.I. ve Rogers, C.A.**, 1994. Ontario's experience with reclaimed materials for use in aggregates, The International Road Federation Conference, p. 212.
- Sönmez, İ., Yıldırım, S.A., Nacar ve F.H.**, 2013, İnşaat molozlarının yol üstyapı malzemesi olarak kullanımı, 5. *Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi*, 2013.
- Su, Nan ve Chen, J. S.**, 2002. Engineering properties of asphalt concrete made with recycled glass, Department of Construction Engineering, Taiwan: National Yunlin University of Science and Technology, s. 259.
- Şengöz, B. ve Topal, A.**, 2002. Bitümlü çatı örtüsü (shingle) atıklarının bitümlü sıcak karışımlarda değerlendirilmesi, 4. Mühendislik Mimarlık Sempozyumu, Balıkesir, s.169.
- T.C. Resmi Gazete**, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıklarının kontrolü yönetmeliğı, 18.03.2008, 25406.
- Terzi, S.**, 2000, Mermer toz atıklarının asfalt betonundan filler malzemesi olarak kullanılmasının araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, *Yüksek Lisans Tezi*, Isparta.

- Topçu, İ.B. ve Işıkdag, B.,** 2006. Atık asfalt kırıklarının agrega olarak beton yollarda değerlendirilmesi, 7th International Congress on Advances in Civil Engineering, İstanbul.
- TS 1900-1,** 2006-2007, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini (Standart Proktor metoduyla optimum rutubet-maksimum yoğunluk tayini, CBR deneyi, Kum Konisi Metodu, Plastisite İndeksi).
- TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü,** 2014. İnşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüşümü ve kullanım kriterlerinin belirlenmesi projesi, Kocaeli.
- Tuncan, A., Çetin, A. ve Tuncan M.,** 1998. Lastik atıkların asfalt betonu kaplamaların mekanik özelliklerine etkileri, 2. *Ulusal Asfalt Sempozyumu*, Ankara, s.139.
- URL-1** <http://www.csb.gov.tr/db/turkce/editordosya/stratejikplan/stratejikplan.html#/74> Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. 20 Ocak 2019.
- URL-2** https://www.mib.org.tr/uploads/UserFile/Pdf/bb2_s8wOvopBFhErVHppx8AaNBal2R3FL1hr.pdf, NACE- Çeneli Kırıcılar [Broşür], 17 Mart 2019.
- URL-3** http://lp.corepla.it/en?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Recycling_Line&gclid=CjwKCAjw9dboBRBUEiwA7VrrzQjLQDIDn96Vwblha3gexHQmNKbByObFuMOamdjaiPA3m0DfQiYW7xoCIOMQAvD_BwE,Titech, Titech Guideline Recycling of C&D Waste [Brochure-ENG] 28 Mart 2019.
- URL-4** <https://www.nihot.co.uk/>, Nihot Recycling Technology Airconomy [Brochure-ENG], 26 Mart 2019.
- URL-5** <https://www.gems-ksa.com/>, 10. Gems Waste Technology Air Flow Windshifters [Brochure-ENG], 25 Mart 2019.
- Yeğinobalı, A. ve Ertün, A.,** 2007. Çimentoda yeni standartlar ve mineral katkılar, TCMB Yayınları.
- Yılmaz, A.,** 2002. Bir elektrometalürji tesisinin atıklarının yol üstü yapısında kullanılabilirliğinin araştırılması, 4. *Mühendislik Mimarlık Sempozyumu*, Balıkesir, s.201.

EKLER

Ek-1. İYA Dolgu

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST REPORT						
						
Sample Height: 116.4 mm		California Bearing Ratio				
Sample Area: 18241 mm ²		at 2.54 mm: 133		at 7.62 mm: 194		at 12.7 mm: N/A
Sample Volume: 2123.3 cc		at 5.08 mm: 163		at 10.16 mm: N/A		
Sample Mass: 7.24 kg						
Sample Condition: Soaked		Water Content	Before	After	Average	Soaked
Swell: -99.23 %		Tare ID	19			
Surcharge: 9.2 kg		Tare Mass, kg	2.4979	0		0
Void Ratio: 0.00		Mass Tare+Wet Soil, kg	4.4595	0		0
Wet Unit Weight: 0 N/m ³		Mass Tare-Dry Soil, kg	0	0.097		0
Dry Unit Weight: 0 N/m ³		Water Content,	-100.00	-100.00	-100.00	-100.00
						
Project: Numune 2		Location:		Project No.: Omuz Salman		
Boring No.:		Tested By: Engin TUTAR		Checked By:		
Sample No.: KALIP NO:2		Test Date: 19/06/2019		Depth:		
Test No.: 1		Sample Type:		Elevation: 0		
Description: KARAYOLLARI B. BXLGE M'D\RL\1\						
Remarks: Ya CBR KALIP NO:2						
19-JUN-2019 11:20:03						

UNCONFINED COMPRESSION TEST

Project: Numune 2
 Sample No.: KALIP NO:2
 Test No.: 1

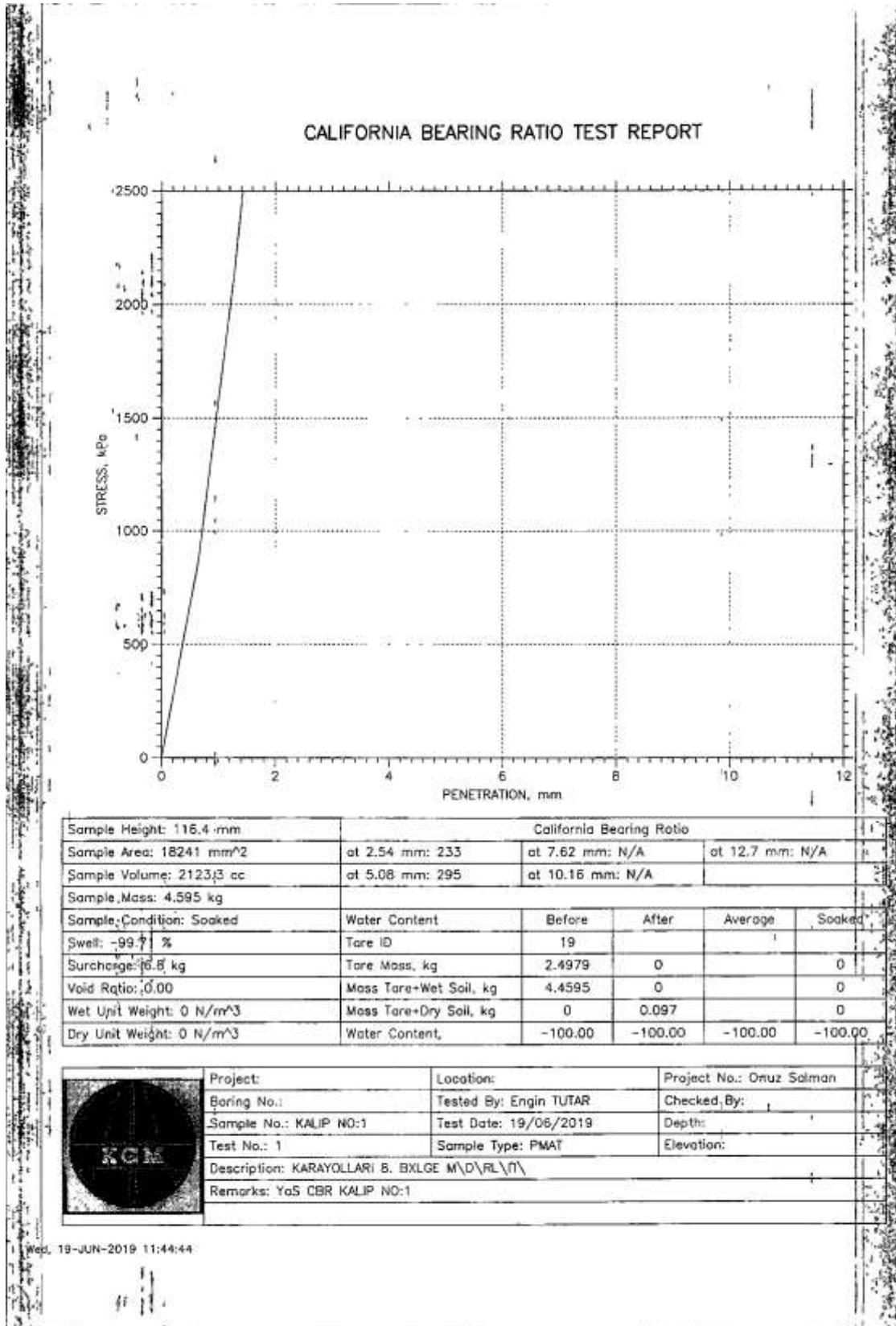
Location:
 Tested By: Engin TUTAR
 Test Date: 19/06/2019
 Sample Type:

Project No.: Oduz Salınan
 Checked By:
 Depth:
 Elevation: 0

Soil Description: KARAYOLLARI 8. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
 Remarks: Ya CBR KALIP NO:2

	Time min	Penetration mm	Stress kPa
1	0	0	-2.766
2	0.44997	0.63599	1608.4
3	0.8908	1.2732	2843.5
4	1.2833	1.9151	4135.2
5	1.6791	2.5404	5494.7
6	2.0958	3.1799	7060.3
7	2.5125	3.81	8772.4
8	2.9375	4.4496	10608
9	3.3416	5.0808	12424
10	3.7541	5.7192	14429
11	4.1708	6.3516	16530
12	4.5916	6.9864	18693
13	5	7.6236	20792
14	5.4125	8.256	22881
15	5.825	8.8932	24929
16	6.2375	9.5315	27006
17	6.5419	10.006	28530

Ek.2 %30 İYA %70 Agrega PMAT



UNCONFINED COMPRESSION TEST

Project:
Boring NO.:
Sample NO.: KALIP NO:1
Test NO.: 1

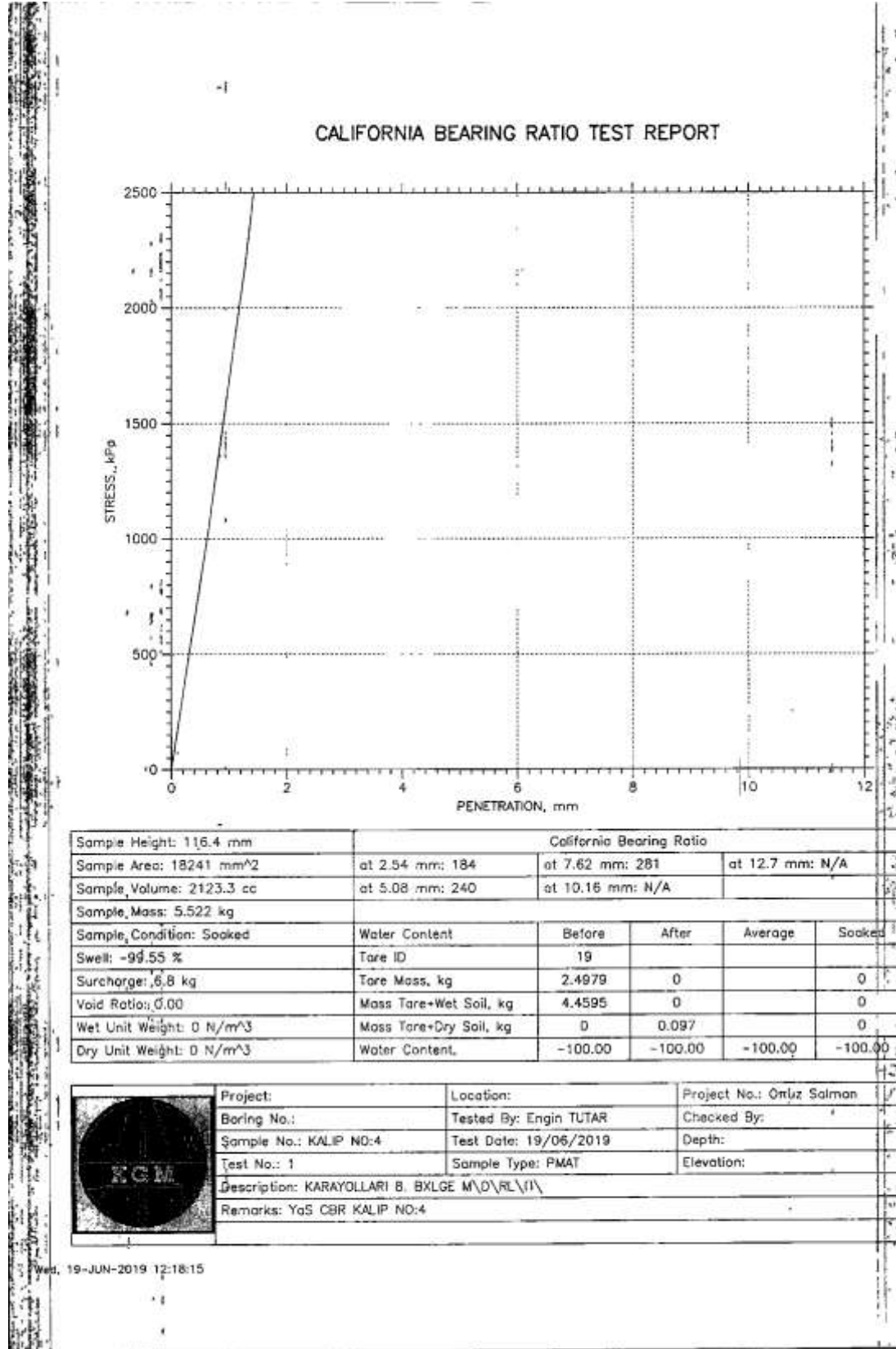
Location:
Tested By: Engin TUTAR
Test Date: 19/06/2019
Sample Type: PMAT

Project No.: Oduz Salman
Checked By:
Depth:
Elevation:

Soil Description: KARAYOLLARI 8. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
Remarks: YaS CBR KALIP NO:1

	Time min	Penetration mm	Stress kPa
	0	0	0
	0.4416	0.64311	869.91
	0.87077	1.2732	2135.4
	1.3041	1.9092	3716.1
	1.7333	2.5428	5579.1
	2.1624	3.1776	7495.9
	2.591	3.81	10024
	3.0208	4.4472	13056
	3.4541	5.0844	16221
10	3.8916	5.718	19563
11	4.3174	6.3516	23045
12	4.7499	6.9876	26742
13	5.1833	7.6224	30667
14	5.6168	8.2584	34293
15	6.0533	8.8944	38020
16	6.4821	9.5336	39504

Ek.3 %50 İYA %50 Agrega PMAT



UNCONFINED COMPRESSION TEST

Project:
Boring No.:
Sample No.: KALIP NO:4
Test No.: 1

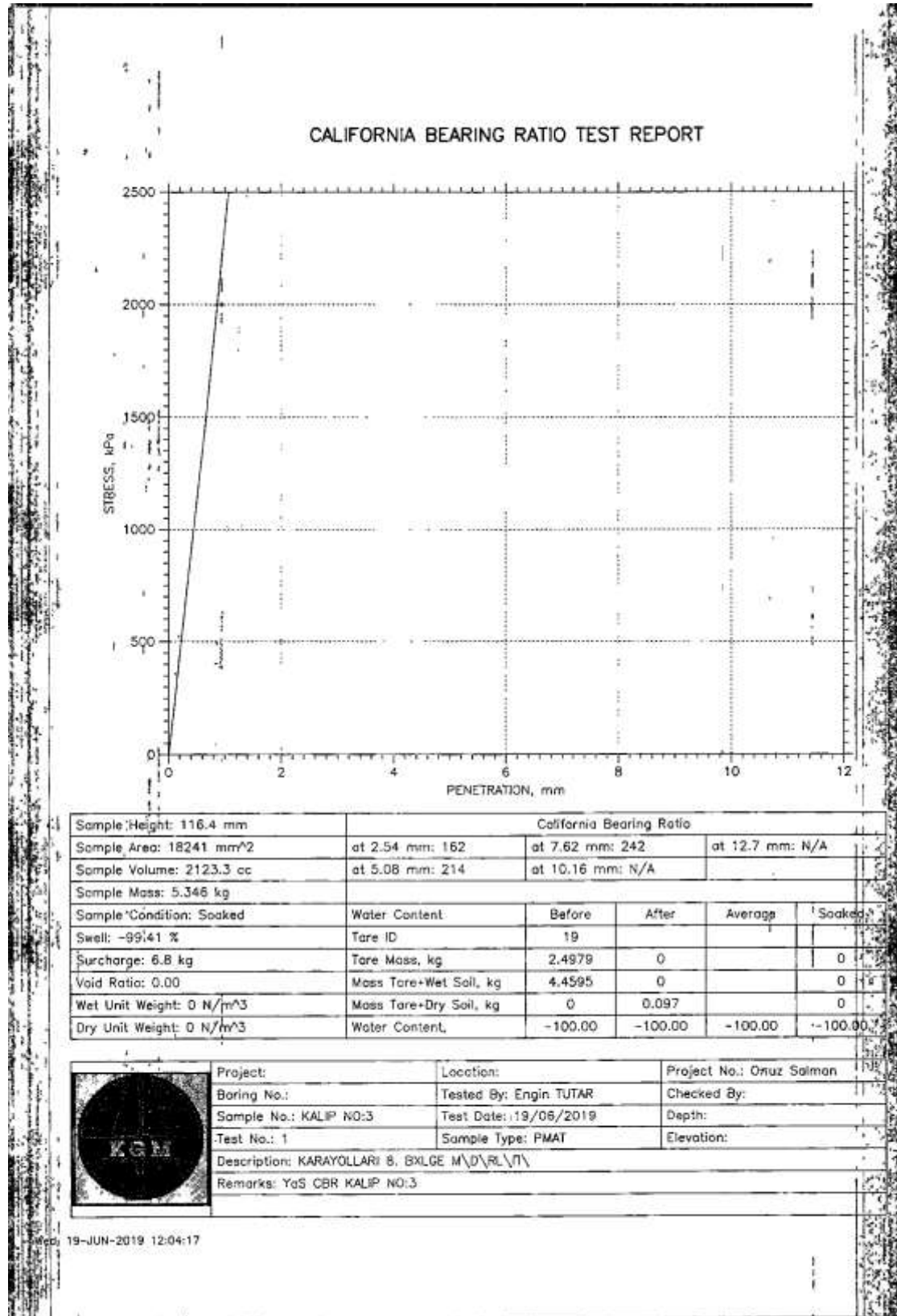
Location:
Tested By: Engin TUTAR
Test Date: 19/06/2019
Sample Type: PMAT

Project No.: 00uz salman
Checked By:
Depth:
Elevation:

Soil Description: KARAYOLLARI 8. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
Remarks: YaS CBR KALIP NO:4

	Time min	Penetration mm	Stress kPa
1	0	0	0
2	0.44985	0.64192	1033.1
3	0.87068	1.2732	2171.3
4	1.279	1.9068	3530.8
5	1.6957	2.5416	5287.2
6	2.1332	3.1776	7410.2
7	2.5457	3.8124	9592.6
8	2.9873	4.4555	11952
9	3.4165	5.0832	14759
10	3.8373	5.7156	17730
11	4.2665	6.3587	20940
12	4.6873	6.9864	23936
13	5.1207	7.6224	27038
14	5.5498	8.2619	30132
15	5.9832	8.8967	33173
16	6.3957	9.5256	36022
17	6.7209	10.005	38179

Ek.4 %70 İYA %30 Agrega PMAT



UNCONFINED COMPRESSION TEST

Project:
Boring No.:
Sample No.: KALIP NO:3
Test No.: 1

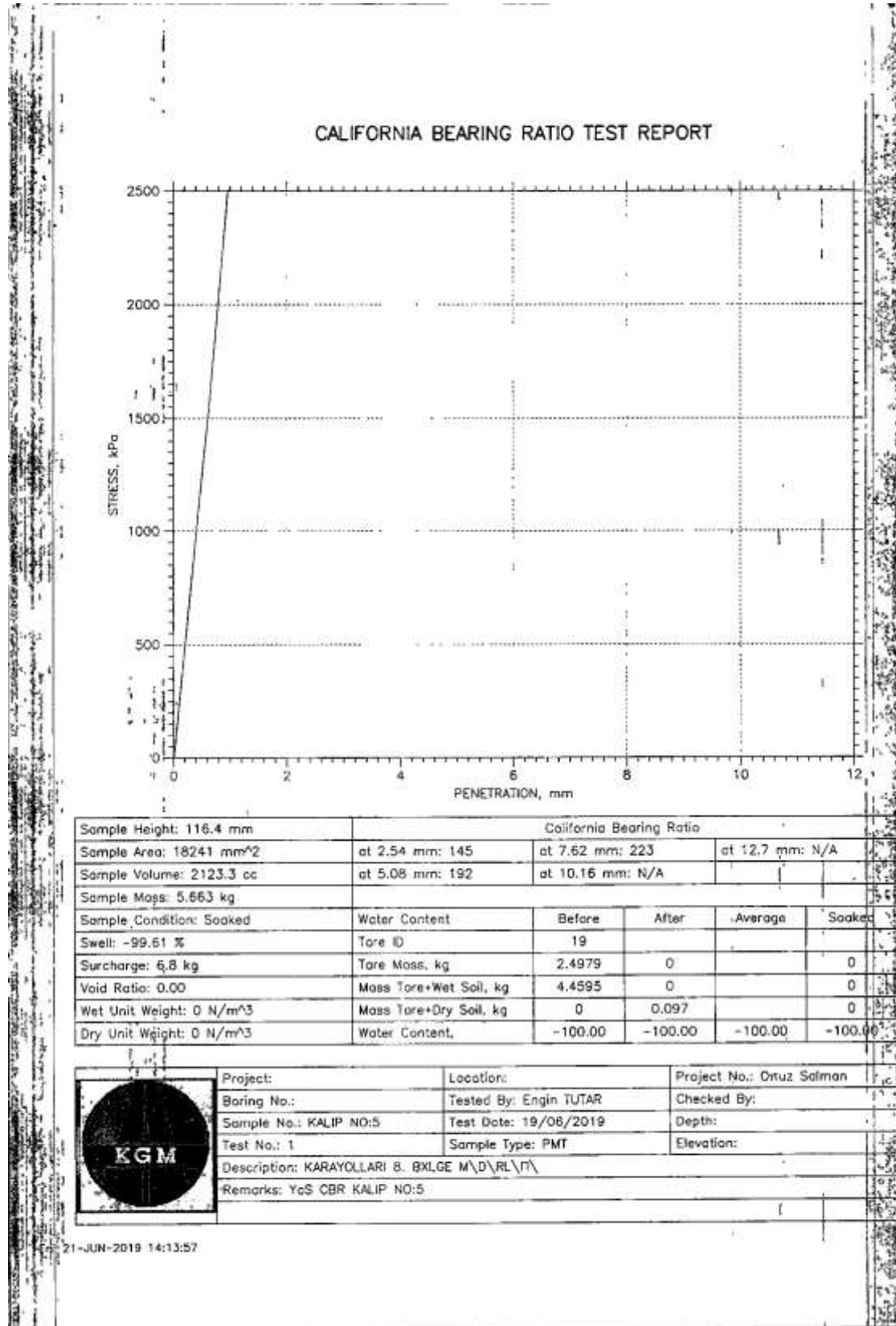
Location:
Tested By: Engin TUTAR
Test Date: 19/06/2019
Sample Type: PMAT

Project No.: Oduz Salman
Checked By:
Depth:
Elevation:

Soil Description: KARAYOLLARI 8. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
Remarks: YaS CBR KALIP NO:3

	Time min	Penetration mm	Stress kPa
1	0	0	-2.766
2	0.45403	0.64074	1438.3
3	0.8707	1.272	3027.4
4	1.2957	1.9068	5144.8
5	1.7165	2.5463	7614.8
6	2.1457	3.1776	10367
7	2.5832	3.8136	13078
8	3.0124	4.4496	15914
9	3.4332	5.0832	18729
10	3.854	5.7168	21394
11	4.279	6.3552	23998
12	4.6999	6.9864	26439
13	5.1165	7.6271	28769
14	5.5415	8.2584	31073
15	5.9624	8.8908	33192
16	6.3832	9.528	35246
17	6.696	10.003	36682

Ek.5 %40 İYA %60 Agrega PMT



UNCONFINED COMPRESSION TEST

Project:
 Drawing No.:
 Sample No.: KALIP NO:5
 Test No.: 1

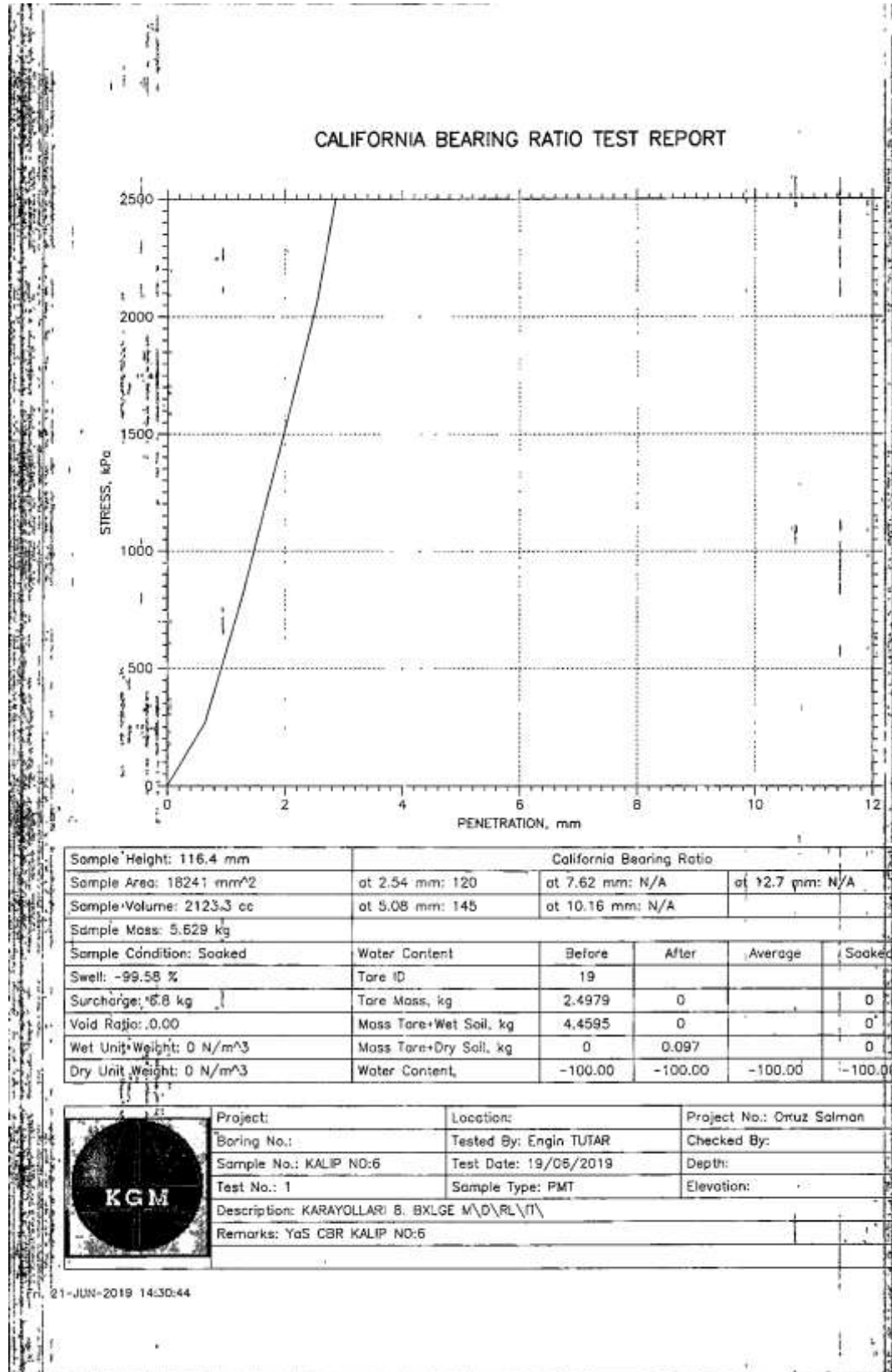
Location:
 Tested By: Engin TUTAR
 Test Date: 19/06/2019
 Sample Type: PMT

Project No.: Oğuz Salıman
 Checked By:
 Depth:
 Elevation:

Description: KARAYOLLARI 8. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
 Remarks: Yaş CBR KALIP NO:5

	Time min	Penetration mm	Stress kPa
1	0	0	-11.064
2	0.44577	0.63836	1569.7
3	0.8666	1.2708	3405
4	1.2833	1.9092	5620.5
5	1.7291	2.5404	8107.2
6	2.1375	3.1764	10024
7	2.5708	3.8171	12581
8	3.013	4.4543	15046
9	3.4208	5.0832	17514
10	3.8625	5.7203	19969
11	4.2958	6.3516	22419
12	4.7166	6.9876	24580
13	5.1333	7.6212	26922
14	5.5541	8.2572	29245
15	5.9708	8.8944	31288
16	6.3916	9.5315	33194
17	6.6919	10.004	34678

Ek.6 %50 İYA %50 Agrega PMT



UNCONFINED COMPRESSION TEST

Project:
Boring No.:
Sample No.: KALIP NO:6
Test No.: 1

Location:
Tested By: Engin TUTAR
Test Date: 19/06/2019
Sample Type: PWT

Project No.: Oðuz Salman
Checked By:
Depth:
Elevation:

Soil Description: KARAYOLLARI 8. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
Remarks: YaS CBR KALIP NO:6

	Time min	Penetration mm	Stress kPa
1	0	0	-1.383
2	0.42903	0.63955	266.92
3	0.8332	1.272	807.68
4	1.2249	1.9056	1425.9
5	1.6249	2.5416	2064.8
6	2.0249	3.1752	2934.7
7	2.4207	3.8124	3919.4
8	2.8374	4.4484	5050.7
9	3.2541	5.0855	6418.5
10	3.6624	5.7156	7902.5
11	4.0874	6.3516	9519.3
12	4.5124	6.9888	11267
13	4.9249	7.62	12742
14	5.3249	8.256	14571
15	5.7332	8.8908	16495
16	6.1541	9.5327	18274
17	6.4543	10.006	19661

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Elazığ'da doğdum. İlk ve orta eğitimini Elazığ'da tamamladım. 2005 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandım. 2009 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldum. 2014 yılında, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Teknolojisi Ana Bilim Dalı Ulaştırma Bilim Dalı Yüksek Lisans Programına kayıt yaptırdım. Evli ve bir kız çocuğu babasıyım.

