



**TOKAT İLİ MERMER İŞLETMELERİNDE
ORTAYA ÇIKAN ATIK MERMERLERİN VE
KENTSEL DÖNÜŞÜM BETON ATIKLARININ
BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA
KULLANIMININ İNCELENMESİ**

ERDİNÇ HALİS ALAKARA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Dr. Öğr. Üyesi Melih Naci AĞAOĞLU

OCAK 2020

Her hakkı saklıdır

T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOKAT İLİ MERMER İŞLETMELERİNDE ORTAYA ÇIKAN ATIK
MERMERLERİN VE KENTSEL DÖNÜŞÜM BETON ATIKLARININ BİTÜMLÜ
SICAK KARIŞIMLARDA KULLANIMININ İNCELENMESİ

ERDİNÇ HALİS ALAKARA

TOKAT
Ocak - 2020

Her hakkı saklıdır



Bu tez çalışması;

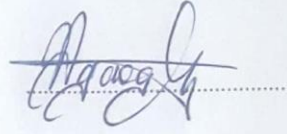
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından 2019/65 No' lu proje ile desteklenmiştir.

Erdiç Halis ALAKARA tarafından hazırlanan "Tokat İli Mermer İşletmelerinde Ortaya ıkan Atık Mermerlerin ve Kentsel Dönüşüm Beton Atıklarının Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanımının İncelenmesi" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 6 OCAK 2020 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İNŞAAT MÜHENDİSLİğİ ANABİLİM DALI' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Melih Naci AğAOğLU
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi



Üye
Dr. Öğr. Üyesi Ferit YAKAR
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi



Üye
Dr. Öğr. Üyesi Murat BOSTANCIOğLU
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi



Prof. Dr. etin EKİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
27-01/2020

TEZ BEYANI

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

Erdinç Halis ALAKARA

Ocak 2020

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOKAT İLİ MERMER İŞLETMELERİNDE ORTAYA ÇIKAN ATIK MERMERLERİN VE KENTSEL DÖNÜŞÜM BETON ATIKLARININ BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA KULLANIMININ İNCELENMESİ

ERDİNÇ HALİS ALAKARA

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ MELİH NACİ AĞAOĞLU

Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artmasına bağlı olarak doğaya bırakılan atık miktarı her geçen gün hızla artmaktadır. Bu artış sonucunda ise sınırlı düzeydeki doğal kaynaklarımız sürekli bir azalış eğilimindedir. Doğal kaynakların sürdürülebilirliği ve tüketiminin azaltılması için, atık malzemelerin kullanılması oldukça önem kazanmıştır. Bu yüzden, ülkemizde ve tüm dünyada atık malzemelerin kullanımı ve ekonomiye kazandırılması hakkındaki yenilikçi çalışmalar her gün daha da artmaktadır. Atıl durumdaki bu malzemelerin değerlendirilmesi için yol inşaatları önemli bir yere sahiptir. Bu sebeple dünya çapında birçok kurum ve kuruluş atık malzemelerin yol inşaatlarında kullanımı ile ilgili geniş çapta araştırmalar yapmaktadırlar. Bu tez çalışmasında, Tokat ilinde yer alan mermer işleme tesislerinde ortaya çıkan mermer atıkları, kentsel dönüşüm atıkları ve doğal kalker agregaları çeşitli oranlarda karıştırılarak bitümlü sıcak karışımların binder tabakasında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, kentsel dönüşüm atıkları ve mermer işleme tesislerinden alınan atık mermerler laboratuvar tipi çeneli kırıcıda öğütülmüş ve bu malzemelere KTŞ (Karayolları Teknik Şartnamesi) 2013' de verilen standart agrega deneyleri uygulanmıştır. Sonrasında 6 grup agrega karışımı oluşturulmuş ve bu karışımlara 7 farklı oranda (%3.5, %4.0, %4.5, %5.0, %5.5, %6.0, %6.5) bitüm ilave edilerek Marshall numuneleri üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin Marshall parametreleri belirlenmiştir. Her bir karışım grubu için optimum bitüm oranı tespit edilerek sonuçlar katkısız numuneler ile kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, bu atıkların bitümlü sıcak karışımların binder tabakasında kullanılabilir olduğu, bu sayede bölgede oluşan atıkların büyük bir kısmının geri kazanımının, ekonomiye katkı sağlayacağı ve çevresel açıdan yararlı olacağı görülmüştür.

2020, 127 SAYFA

ANAHTAR KELİMELER: Atık Mermer, Bitümlü Sıcak Karışım, Kentsel Dönüşüm Beton Atığı, Agrega

ABSTRACT

MASTER THESIS

INVESTIGATION OF THE USAGE OF WASTE MARBLES AND URBAN TRANSFORMATION CONCRETE WASTES OF MARBLE FACTORIES IN TOKAT PROVINCE IN BITUMINOUS HOT MIXTURES

ERDİNÇ HALİS ALAKARA

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

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

SUPERVISOR: ASST. PROF. DR. MELİH NACİ AĞAOĞLU

Due to the rapid increase of the world's population, the amount of waste left to nature increases rapidly with each passing day. As a result of this increase, our limited natural resources tend to decrease continuously. The use of waste materials has become very important for the sustainability and consumption of natural resources. Therefore, innovative studies on the use and utilization of waste materials in our country and around the world are increasing day by day. Road constructions play an important role in the assessment of these inert materials. For this reason, many institutions and organizations around the world are conducting extensive research on the use of waste materials in road constructions. In this thesis, the use of bituminous hot mixtures in the binder layer was investigated by mixing marble wastes, urban transformation wastes and natural limestone aggregates in the marble processing plants in Tokat province in various proportions. Within the scope of this study, waste marbles from urban transformation wastes and marble processing plants were ground in laboratory jaw crusher and standard aggregate tests given in KTŞ (Highways Technical Specification) 2013 were applied to these materials. Then, 6 groups of aggregate mixtures were formed and 7 different amounts of bitumen (3.5%, 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%) were added to these mixtures and Marshall samples were produced. Marshall parameters of these samples were determined. The optimum bitumen rate was determined for each mixture group and the results were compared with unadulterated samples. As a result, it has been found that these wastes can be used in the binder layer of bituminous hot mixtures, so that the recovery of a large part of the wastes generated in the region will contribute to the economy and be environmentally beneficial.

2020, 127 PAGE

KEYWORDS: Waste Marble, Bituminous Hot Mixture, Urban Transformation Concrete Waste, Aggregate

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince ilminden faydalandığım, yardımlarını ve bilgilerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bu süreç boyunca beni yönlendiren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Melih Naci AĞAOĞLU' na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

2019/65 No` lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince değerli fikirlerini ve yardımlarını esirgemeyen İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Sayın Dr. Öğr. Üyesi Şinasi BİNGÖL' e, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇAVUŞ' a, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ferit YAKAR' a ve tüm İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne; yine her türlü yardımlarını esirgemeyen Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mithat ŞİMŞEK' e ve çok kıymetli mesai arkadaşlarım Sayın Arş. Gör. Halil Burak MUTU' ya ve Sayın Arş. Gör. Oğuzhan PEKTEZEL' e teşekkür ederim.

Son olarak yüksek lisans çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bu süreçte beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Erdoğan Halis ALAKARA

Ocak 2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1. Agreg a	11
2.1.1. Doğal agregalar	12
2.1.2. Yapay agregalar	12
2.1.3. Bitümlü kaplamalar yönünden agreg	13
2.1.4. Esnek üstyapı tasarımında kullanılan agregaların özellikleri	14
2.2. Mermer	17
2.2.1. Mermerin tanımı ve özellikleri	17
2.2.2. Mermerin oluşumu.....	18
2.2.3. Mermerin özellikleri	18
2.2.4. Mermerin sınıflandırılması	19
2.2.5. Mermerin kullanım alanları	22
2.2.6. Mermerin Dünya’ da ve Türkiye’ deki durumu.....	23
2.3. Karayolu Altyapı ve Üstyapı Özellikleri	25
2.3.1. Karayolu altyapısı	25
2.3.2. Karayolu üstyapısı	26
2.4. İnşaat Sektörü Açısından Geri Dönüşüm	42
2.4.1. Betonun geri dönüşümü	42
2.4.2. Mermer atıklarının inşaat sektöründe değerlendirilmesi	43
3. MATERYAL ve YÖNTEM	45
3.1. Materyal	45
3.1.1. Agreg.....	45
3.1.2. Bitüm.. ..	48

3.2. Yöntem	48
3.2.1. Agrega deneyleri.....	49
3.2.2. Bitüm deneyleri.....	66
3.2.3. Kaplama karışım hesabında kullanılacak bağıntılar	69
3.2.4. Marshall karışım dizaynı	73
4. BULGULAR	80
4.1. Agrega Deneyleri	80
4.1.1. Elek analizi	80
4.1.2. Los Angeles deneyi.....	86
4.1.3. Yassılık indeksi deneyi	87
4.1.4. Soyulma deneyi.....	88
4.1.5. Birim hacim ağırlık (BHA) deneyi	89
4.1.6. Özgül ağırlık ve su emme deneyi	90
4.2. Bitüm Deneyleri	91
4.3. Marshall Stabilite ve Akma Deneyleri	92
4.3.1. (1) No' lu grup Marshall dizayn sonucu	92
4.3.2. (2) No' lu grup marshall dizayn sonucu	96
4.3.3. (3) No' lu grup marshall dizayn sonucu	99
4.3.4. (4) No' lu grup marshall dizayn sonucu	102
4.3.5. (5) No' lu grup marshall dizayn sonucu	105
4.3.6. (6) No' lu grup marshall dizayn sonucu	108
5. TARTIŞMA	111
6. KAYNAKLAR	117
7. EKLER	121
8. ÖZGEÇMİŞ	127

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

Açıklama

MgSO ₄	Magnezyum Sülfat
NaOH	Sodyum Hidroksit

Kısaltmalar

Açıklama

ASTM	American Society for Testing and Materials
BSK	Bitümlü sıcak karışım
CBR	Kaliforniya Taşıma Oranı
cm	Santimetre
ÇBGT	Çimento bağlayıcılı granüler temel
D _p	Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı
D _T	Maksimum teorik ağırlık
G _b	Bitüm özgül ağırlığı
G _{ef}	Agrega efektif özgül ağırlığı
G _{fa}	Filler zahiri özgül ağırlığı
G _{ia}	İnce agrega zahiri özgül ağırlığı
G _{ib}	İnce agrega hacim özgül ağırlığı
G _{ka}	Kaba agrega zahiri özgül ağırlığı
G _{kb}	Kaba agrega hacim özgül ağırlığı
G _{sa}	Agrega karışımının zahiri özgül ağırlığı
G _{sb}	Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı
GT	Granüler temel
In	İnç
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
kN/m ³	Kilonewton / metreküp
KTŞ	Karayolları Teknik Şartnamesi

m	Metre
mm	Milimetre
NP	Non plastik (plastik olmayan)
P _{ba}	Absorbe edilen bitüm
PMT	Plentmiks temel
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
V _f	Asfaltla dolu boşluk
VFA	Asfaltla dolu boşluk
V _h	Hava boşluğu
VMA	Agregalar arası boşluk
%F	Filler yüzdesi
%İ	İnce agrega yüzdesi
%K	Kaba agrega yüzdesi

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Yol üstyapısı tip enkesiti	27
Şekil 2.2. Esnek üstyapı kesiti ve tabaka kalınlıkları	29
Şekil 3.1. Mermer kütlelerinin kesimi	46
Şekil 3.2. Atık mermer sahası	47
Şekil 3.3. Laboratuvar tipi konkasör	47
Şekil 3.4. Beton atıklarının öğütülmesi	48
Şekil 3.5. Elekler, etüv ve terazi	49
Şekil 3.6. Los Angeles cihazı ve bilyeleri	53
Şekil 3.7. Yassılık indeksi deney şablonu	56
Şekil 3.8. Cilalanma deneyi cihazı	57
Şekil 3.9. Kayma direnci ölçme cihazı	57
Şekil 3.10. Birim hacim ağırlık ölçü kapları	60
Şekil 3.11. Tel sepet ve sızdırmaz tank	62
Şekil 3.12. İnce agregaların doygun kuru	64
Şekil 3.13. Abraham hunisi ve tokmağı	64
Şekil 3.14. Piknometre	65
Şekil 3.15. Penetrasyon deney cihazı	67
Şekil 3.16. Piknometre yöntemi	68
Şekil 3.17. Yumuşama noktası deney düzeneği	69
Şekil 3.18. Marshall karışımının	75
Şekil 3.19. Karışımın kalıba	75
Şekil 3.20. Marshall tokmağı	75
Şekil 3.21. Numunelerin kriko ile kalıptan çıkarılması	75
Şekil 3.22. Marshall numunelerinin kalıptan çıkarılmış hali	75
Şekil 3.23. Arşimet terazisinde Marshall numunesinin tartımı	76
Şekil 3.24. Kumpas ile numunenin ölçümü	77
Şekil 3.25. Su banyosundaki Marshall numuneleri	77
Şekil 3.26. Marshall stabilite test cihazı	78
Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan agrega gradasyonu	82
Şekil 4.2. Soyulma deneyi	88
Şekil 4.3. (1) No' lu grup hava boşluğu grafiği	93
Şekil 4.4. (1) No' lu grup stabilite grafiği	93
Şekil 4.5. (1) No' lu grup akma grafiği	93
Şekil 4.6. (1) No' lu grup VMA grafiği	94
Şekil 4.7. (1) No' lu grup Vf grafiği	94
Şekil 4.8. (1) No' lu grup hacimsel özgül ağırlık grafiği	94
Şekil 4.9. (2) No' lu grup hava boşluğu grafiği	96
Şekil 4.10. (2) No' lu grup stabilite grafiği	97
Şekil 4.11. (2) No' lu grup akma grafiği	97
Şekil 4.12. (2) No' lu grup VMA grafiği	97
Şekil 4.13. (2) No' lu grup Vf grafiği	97
Şekil 4.14. (2) No' lu grup hacimsel özgül ağırlık grafiği	98
Şekil 4.15. (3) No' lu grup hava boşluğu grafiği	99
Şekil 4.16. (3) No' lu grup stabilite grafiği	100
Şekil 4.17. (3) No' lu grup akma grafiği	100
Şekil 4.18. (3) No' lu grup VMA grafiği	100

Şekil 4.19. (3) No' lu grup Vf grafiği.....	100
Şekil 4.20. (3) No' lu grup hacimsel özgöl ağırlık grafiği.....	101
Şekil 4.21. (4) No' lu grup hava boşluğu grafiği	102
Şekil 4.22. (4) No' lu grup stabilite grafiği.....	103
Şekil 4.23. (4) No' lu grup akma grafiği	103
Şekil 4.24. (4) No' lu grup VMA grafiği.....	103
Şekil 4.25. (4) No' lu grup Vf grafiği.....	103
Şekil 4.26. (4) No' lu grup hacimsel özgöl ağırlık grafiği.....	104
Şekil 4.27. (5) No' lu grup hava boşluğu grafiği	105
Şekil 4.28. (5) No' lu grup stabilite grafiği.....	106
Şekil 4.29. (5) No' lu grup akma grafiği	106
Şekil 4.30. (5) No' lu grup VMA grafiği.....	106
Şekil 4.31. (5) No' lu grup Vf grafiği	106
Şekil 4.32. (5) No' lu grup hacimsel özgöl ağırlık grafiği.....	107
Şekil 4.33. (6) No' lu grup hava boşluğu grafiği	108
Şekil 4.34. (6) No' lu grup stabilite grafiği.....	109
Şekil 4.35. (6) No' lu grup akma grafiği	109
Şekil 4.36. (6) No' lu grup VMA grafiği.....	109
Şekil 4.37. (6) No' lu grup Vf grafiği.....	109
Şekil 4.38. (6) No' lu grup hacimsel özgöl ağırlık grafiği.....	110
Şekil 5.1. Opt. bitüm değerlerine göre hesaplanan Marshall stabilite değ.	113
Şekil 5.2. Optimum bitüm miktarlarına göre hesaplanan akma değerleri	115
Şekil 5.3. Optimum bitüm miktarları.....	116

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge

Sayfa

Çizelge 2.1. Mermerlerin kristal boyutuna göre sınıflandırılması	21
Çizelge 2.2. Mermerlerin mineral bileşim ve oranlarına göre sınıflandırılması	21
Çizelge 2.3. Dünyanın en büyük mermer üretici ülkeleri	24
Çizelge 2.4. Türkiye’deki mermer rezervlerinin miktarı (Okubay, 2016).....	24
Çizelge 2.5. Malzeme cinsine göre minimum alttemel kalınlıkları	30
Çizelge 2.6. Alttemel malzemesi gradasyon limitleri (KTŞ 2013).....	31
Çizelge 2.7. Alttemel malzemesi fiziksel özellikleri	32
Çizelge 2.8. Kaba agreganın fiziksel özellikleri	33
Çizelge 2.9. İnce agreganın fiziksel özellikleri (KTŞ, 2013)	33
Çizelge 2.10. Granüler temel tabakası gradasyon limitleri (KTŞ, 2013)	34
Çizelge 2.11. Plent-miks temel tabakası gradasyon limitleri (KTŞ, 2013)	35
Çizelge 2.12. Dane büyüklüğüne bağlı olarak tolerans limitleri (KTŞ, 2013) .	35
Çizelge 2.13. ÇBGT tabakası gradasyon limitleri (KTŞ, 2013).....	36
Çizelge 2.14. Bitümlü temel tabakası için kaba agrega özellikleri.....	37
Çizelge 2.15. Bitümlü temel tabakası için ince agrega özellikleri.....	37
Çizelge 2.16. Bitümlü temel tabakası için gradasyon limitleri (KTŞ, 2013)....	38
Çizelge 2.17. Bitümlü temel dizayn kriterleri (KTŞ 2013)	38
Çizelge 2.18. Binder tabakası gradasyon limitleri (KTŞ, 2013).....	40
Çizelge 2.19. Aşınma tabakası gradasyon limitleri (KTŞ 2013)	40
Çizelge 2.20. Aşınma ve binder tabakaları dizayn kriterleri (KTŞ, 2013)	41
Çizelge 2.21. Aşınma ve binder karışımı tolerans sınırları (KTŞ, 2013)	41
Çizelge 2.22. Aşınma ve binder tabakası malzemeleri karıştırma sıcaklıkları .	42
Çizelge 3.1. Marshall dizayn kombinasyonları	45
Çizelge 3.2. Elek açıklıkları ve deney numunesi ağırlıkları (Orhan, 2012).	50
Çizelge 3.3. Granülometri sınıfları ve deney için gerekli numune miktarları ..	52
Çizelge 3.4. Kullanılan bilye sayısı ve yükleme ağırlıkları	52
Çizelge 3.5. Yassılık indeksi deneyi için gereken min. malzeme miktarı	56
Çizelge 3.6. Binder tabakası şartname değerleri (KTŞ 2013)	79
Çizelge 4.1. Doğal agrega elek analizi sonuçları.....	82
Çizelge 4.2. Deneysel çalışmada kul. agrega grupları ve malzeme oranları	83
Çizelge 4.3. 1 No’ lu grup için deneylerde kullanılan agrega miktarları.....	83
Çizelge 4.4. 2 No’ lu grup için deneylerde kullanılan agrega miktarları.....	84
Çizelge 4.5. 3 No’ lu grup için deneylerde kullanılan agrega miktarları.....	84
Çizelge 4.6. 4 No’ lu grup için deneylerde kullanılan agrega miktarları.....	85
Çizelge 4.7. 5 No’ lu grup için deneylerde kullanılan agrega miktarları.....	85
Çizelge 4.8. 6 No’ lu grup için deneylerde kullanılan agrega miktarları.....	86
Çizelge 4.9. Los Angeles aşınma deneyi sonucu.....	86
Çizelge 4.10. Doğal agrega için yassılık indeksi deney sonucu	87
Çizelge 4.11. Atık Mermer agregası için yassılık indeksi deney sonucu	87
Çizelge 4.12. Yassılık indeksi deney sonuçlarının değerlendirilmesi	88
Çizelge 4.13. Soyulma deneyinin sonucu	88
Çizelge 4.14. Doğal agrega sıkışık ve gevşek BHA deneyi sonuçları.....	89
Çizelge 4.15. Mermer agregası sıkışık ve gevşek BHA deneyi sonuçları	89
Çizelge 4.16. Kentsel dön. bet.atığının sıkışık ve gevşek BHA deneyi sonucu	89
Çizelge 4.17. Doğal agrega için kaba agrega özgül ağ.ve su emme sonucu ...	90
Çizelge 4.18. Doğal agrega için ince agrega özgül ağ.ve su emme sonucu	90

Çizelge 4.19. Doğal agrega filler özgül ağırlığı deney sonucu.....	90
Çizelge 4.20. Mermer agregası kaba agrega özgül ağırlığı ve su emme sonucu.....	91
Çizelge 4.21. Kentsel dön. bet.atığı ince agrega özgül ağırlığı ve su emme sonucu	91
Çizelge 4.22. Bitümlü malzemenin deney sonuçları	91
Çizelge 4.23. (1) No' lu grup Marshall parametrelerinin KTŞ' ye uygunluğu..	95
Çizelge 4.24. (2) No' lu grup Marshall parametrelerinin KTŞ' ye uygunluğu..	98
Çizelge 4.25. (3) No' lu grup Marshall parametrelerinin KTŞ' ye uygunluğu	101
Çizelge 4.26. (4) No' lu grup Marshall parametrelerinin KTŞ' ye uygunluğu	104
Çizelge 4.27. (5) No' lu grup Marshall parametrelerinin KTŞ' ye uygunluğu	107
Çizelge 4.28. (6) No' lu grup Marshall parametrelerinin KTŞ' ye uygunluğu.	110



1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve sanayileşmeye bağlı olarak gerçekleşen hızlı kentleşme ve nüfus artışı, hem ülkemizde hem de tüm dünyada insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki baskısını hızlı bir şekilde artırmıştır. Bu bağlamda, üretim ve pazarlama alanındaki genişleme doğal kaynakların yoğun bir şekilde kullanımını kaçınılmaz hale getirmiştir. Sürekli artan tüketim sonucu oluşan atıklar, zararlı içerikleri nedeniyle hem insan sağlığı hem de çevre sağlığı açısından büyük tehditlere sebep olmaktadır. Bu şartlar altında gelişen çevre bilincine bağlı olarak çevrenin korunması, tüm dünya ülkelerinin temel politika öncelikleri arasında ön plana yerleşmiş ve bu alanda ortaya çıkan tehlikelerin nedenlerini araştırmak için birçok çalışma yapılmıştır (Kaçtıoğlu ve Şengül, 2010).

İnsanlar her türlü ihtiyacını karşılayabilmek ve hayatını sürdürebilmek için çeşitli kaynakları kullanırlar. Bu kullanımın sonucunda ömrünü tamamlamış artık iş görmeyen, atılacak olan parçalar atık olarak adlandırılabilir (Uzunoğlu, 2014). Kökeni fark etmeksizin (evsel, ticari ya da endüstriyel) atık; hammadde, yakıt ve suyun kullanıldıktan sonra kullanılabilirliğini yitirmesi ve kişiler için mali değerini kaybetmesi şeklinde tanımlanabilir (Gündüzalp ve Güven, 2016).

Atıkları üretim ve tüketimine, fiziksel ve kimyasal özelliklerine vs. gibi birçok faktöre bağlı olarak sınıflandırmak mümkündür. Buna göre atıklar genel olarak; katı, sıvı ve gaz atıklar, ambalaj atıkları vs. şeklinde çeşitli sınıflara ayrılabilirler. Katı atıklar; üreticisi bakımından artık istenmeyen, insanların ve çevrenin huzuru, sağlığı açısından düzenli şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeleri ifade eder (Gündüzalp ve Güven, 2016).

Atık maddelerin geri kazanılması, hem ekonomik değeri olan maddelerin üretim maliyetlerinde, hem de atık miktarının azaltılmasıyla atık bertaraf maliyetlerinde önemli bir tasarruf sağlamaktadır. Geri kazanılmış olan atık maddelerin oranının yükselmesiyle doğal kaynaklar ve çevre üzerindeki baskı da azalmaktadır. Bunun sonucunda ise atık depolama alanlarına duyulan ihtiyaç azalmakta ve bertaraf maliyetlerinde tasarruf sağlanmaktadır. Sağlanan bu kazanımların mali etkilerinin yanı sıra insan ve çevre sağlığı üzerinde de çok önemli pozitif etkileri olmaktadır (Kaçtıoğlu ve Şengül, 2010).

Birçok sektörde olduğu gibi inşaat sektörü de katı atıkların fazlasıyla ortaya çıktığı sektörlerdendir. Hammadde gereksiniminden dolayı meydana gelen atık emisyonu oranına dikkat edilirse, inşaat sektörünün tüm sanayi sektörleri içerisinde ilk sırada yer aldığı görülmektedir.

İnşaat sektörü genelinde en çok kullanılan malzeme olan agrega, sektörde önemli bir yere sahiptir. Kullanılan bu agregalar çevremizde bulunan agrega ocaklarından veya doğal agregalardan elde edilmektedir. Bu yüzden de gün geçtikçe yeni agrega ocaklarına olan ihtiyaç artmaktadır. Artan ocak sayısı yeryüzünün genel yapısını bozarak ekolojik dengeye zarar vermekte ve çevre kirliliğinin yanı sıra büyük bir görüntü kirliliğine de sebep olmaktadır (Gürer, 2005).

Günümüzde yapılan çalışmalara bakıldığında, tüm dünyada kullanılan ürünlerin ve meydana gelen katı atıkların neredeyse % 50'sinin inşaat sektörü ile ilgili olduğu görülmüştür. Her yıl tüm dünyada milyarlarca ton kullanılan beton, sudan sonra en çok tüketilen madde olmuştur. Dünya genelinde yapılan çalışmalar sonucu bir ülkede meydana gelen toplam katı atıkların yaklaşık % 30-50' sinin inşaat ve yıkıntı atıklarından, bu oranın da %50-60'mın betondan oluştuğu tahmin edilmektedir. Ülkemizdeki yapıların kalite durumunun yeterli olmadığı 2011 yılında Van' da gerçekleşen deprem sonrasında bir kez daha görülmüştür. 2012 yılında 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi hakkındaki yasanın onaylanması ile beraber kentsel dönüşüm faaliyetleri daha da hız kazanmıştır. Kanunun yayınlandığı tarihten itibaren birçok şehirde riskli alanlar belirlenmiş, yıkımlar ve inşaatlar başlamıştır (Maçin ve Demir, 2018)

Türkiye, 5.2 milyar m³ lük (13.9 milyar ton) muhtemel mermer rezervi ile dünya rezervinin ortalama %40'ına sahiptir. Türkiye' de tahminen 3.872 milyar m³ işletilebilir mermer, 2.7 milyar m³ işletilebilir traverten, 995 milyon m³ granit rezervi olduğu düşünülmektedir. Türkiye' de mermer üretimi özellikle 1980'li yıllardan sonra hızlı bir şekilde artmıştır. Ülkemiz, mermer üretiminde dünyada 7. sırada, mermer ihracatında ise dünyada 8. sırada yer almaktadır (Öztürk, 2018). Türkiye' deki mermer rezervlerinin durumuna bakılacak olursa; Balıkesir, Afyon, Bilecik, Eskişehir, Tokat illeri rezervin en çok bulunduğu yerlerdir. Tokat ili mermer rezervi bakımından Türkiye' de 5. sırada yer almaktadır. Türkiye dünyadaki mermer rezervinin % 40'ına sahiptir ki, bu oranın % 20'si Tokat ilinde bulunmaktadır (Ertaş ve ark., 2011).

Ocaklardan çıkan bu mermerlerin işlenmesi sırasında büyük miktarlarda mermer tozu, atık mermer parçaları ve mermer çamuru meydana gelmektedir. Blok mermer üretiminde neredeyse % 50'ye yakın atık oluşurken, plaka kesimi işleminde ise en az %15-50 civarında toz şeklinde atık meydana gelmektedir. Özellikle kuru ve rüzgârlı hava durumunda mermer tesislerinin etrafında ciddi toz kirliliği oluşmaktadır. Bu toz kirliliği etrafta yer alan bitki ve ağaç örtüsüne çok büyük zararlar vermektedir. Ayrıca, plaka mermer üretimi sırasında gereken önlemleri almayan tesisler gürültü kirliliğine de neden olmaktadır. Mermer işletmelerinde meydana gelen atıklar, çamurlar ve tozlar tehlikeli atıklar olmadıkları için kurallara uygun şekilde yönetilir ve işletilirse önemli bir hammadde seçeneği olabilmektedir. Batı Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde % 80 civarında değerlendirilen bu atıkların ülkemizdeki değerlendirilme oranı ise maalesef % 20 gibi çok düşük bir orandadır (Öztürk, 2018).

Bu çalışmada, mermer işleme tesislerinde meydana gelen mermer atıkları ile kentsel dönüşüm beton atıklarının, asfalt kaplamaların binder tabakasında doğal agregaya ile birlikte kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Deneylelerden elde edilen sonuçlar katkısız numuneler ile kıyaslanmıştır. Çalışma kapsamında yapılan deneyler agregaya deneyleri ve sıcak karışım deneyleri olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde; yapılacak çalışmaya benzer bitümlü sıcak karışımlarla ilgili tez ve makale çalışmalarına yer verilmiştir.

Süer (2019) yapmış olduğu tez çalışmasında, Alaşehir (Manisa) bölgesinde ortaya çıkan atık travertenlerin karayolu temel ve alt temel tabakalarında kullanılabilirliğini incelemiştir. Çalışma kapsamında atık malzemelere, Karayolları Teknik Şartnamesi'nde (KTŞ 2013) alttemel ve temel tabakası için belirtilen deneyler uygulanmıştır. Uygulanan deneyler; elek analizi, Los Angeles deneyi, kaba ve ince agrega su emme deneyi, plastik limit ve likit limit deneyi, yassılık indeksi deneyi, MgSO₄ ile yapılan hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi, metilen mavisi deneyi, CBR ve proktor deneyi, organik madde tayini, kil topağı ve dağılabilen tane oranı deneyleridir. Yapılan deney sonuçları KTŞ' de verilen limit değerler ile karşılaştırılmış ve bu malzemenin temel ve alttemel tabakalarında kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Köfteci (2017) yaptığı çalışmada, üretimi hatalı yapılan atık bitümlü sıcak karışımlardan elde edilmiş olan geri dönüştürülmüş agrega malzemelerinin özelliklerini değerlendirerek yol üstyapısında tekrardan kullanılabilirliğini araştırmıştır. Deneyler kapsamında Antalya' da bulunan bir yol kesiminden bitümlü temel tabakasına ait kısımdan 20 adet karot numunesi alınmıştır. Bu numunelerdeki agrega ve bitüm laboratuvar ortamında reflüks (cam) ekstraktör cihazı ile ayrıştırılmıştır. Karot numunelerinin her birinde bulunan agrega malzemelerine elek analizi yapılarak sonuçlar şartnamede verilen bitümlü temel tabakasına ait limit değerler ile kıyaslanmıştır. Geri kazanılmış olan agregalara metilen mavisi, soyulma, Los Angeles aşınma, donma-çözülme ve yassılık indeksi deneyleri gibi agrega deneyleri uygulanmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre geri kazanım ile elde edilen agrega malzemelerinin şartname limitlerini sağladığı ve yol üstyapısında tekrardan kullanımının uygun olduğu görülmüştür.

Bocci (2017) yapmış olduğu çalışmada, demir ve çelik endüstrisi tarafından üretilen atıklardan biri olan pota ocağı cürufunun sıcak asfalt karışımlarında filler malzeme olarak kullanımını incelemiştir. Çalışma kapsamında pota ocağı cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri değerlendirilmiştir. Pota ocağı cürufunu işleme ve asfalt betonunda uygulamak için uygun hale getirme prosedürü uygulanmıştır. Sonrasında ise pota ocağı

cürufu içeren asfalt betonunun hacimsel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Deney sonuçları pota ocağı cürufu katkılı numunelerin, şahit numunelere göre hacimsel özellik, sertlik, dolaylı çekme mukavemeti ve tekrarlanan yüklere karşı direnç gibi durumlar açısından mükemmel bir performans sergilediğini göstermiştir.

Okubay (2016) yapmış olduğu doktora tez çalışmasında, mermer atıklarının bitümlü sıcak karışımlarda (BSK) agrega ve filler malzemesi olarak kalker kökenli agregalar ile birlikte kullanılabilirliğini incelemiştir. Deneylerde kullanılacak bitüm malzemesi için standart bağlayıcı ve Superpave bağlayıcı deneyleri yapılmıştır. Agregalar için çeşitli deneyler yapılarak fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Her karışım grubunun optimum bitüm içeriği, Marshall yöntemine göre bulunmuştur. Hazırlanmış olan numuneler için; Marshall stabilite ve akma deneyi ve kalıcı Marshall stabilitesi deneyi yapılarak sonuçlar şahit numuneler ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, mermer atıklarının bitümlü sıcak karışımlarda kalker kökenli agregalarla birlikte kullanımının uygun olduğu ve sonuçların KTSŞ' de belirlenen limitler arasında kaldığı görülmüştür. Ayrıca atık mermerlerin bitümlü sıcak karışımlarda düşük ve orta hacimdeki trafik yükü olan yollarda binder tabakasında değerlendirilebileceği görülmüştür.

Aktaş ve Bozdemir (2015) yapmış oldukları çalışmada, çinko endüstrisindeki atık cürufların bitümlü sıcak karışımlarda agrega olarak kullanılmasının uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada atık cüruflar, doğal mineral agregaya %25, %50, %75 ve %100 oranlarında ikame edilerek bitümlü sıcak karışımların binder tabakasında kullanılabilirliği incelenmiştir. Şahit ve atık cüruf katkılı olarak üretilen numunelerin karışım özellikleri, Marshall stabilite, akma, Marshall oranı (MQ), özgül ağırlık, hava boşluğu ve bitüm ile doldurulmuş boşluk gibi değerleri bulunarak birbiriyle kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, mineral agrega olarak atık cürufun eklenmesinin karışım özelliklerini iyileştirdiği ve bitümlü sıcak karışımlarda kullanılma potansiyelinin yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Saltan ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, atık cam tozunun bitümlü sıcak karışımlarda mineral dolgu maddesi olarak kullanımını araştırmıştır. Mineral dolgu maddesi olarak kırma taş tozu ve iki farklı cam atık tozu kullanılmıştır. Atık camlar çalışmada evsel cam atıkları ve hurda camları olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır. Atık camlar laboratuvarında dolgu maddesi boyutuna getirilmiştir. Kontrol karışımlarının optimum bitüm içeriği %5.80 olarak hesaplanmıştır. Evsel ve hurda (kırıntı) cam atık dolgu

malzemeleri ile hazırlanan karışımlar için optimum bitüm içerikleri ise sırasıyla %5.94 ve %5.85 olarak bulunmuştur. Çalışmada sadece farklı dolgu türleri değil aynı zamanda farklı dolgu oranları da (%5, %6, %7, %8 ve %9) kullanılmıştır. Maksimum Marshall stabilitesi değeri hurda cam tozu ile hazırlanan numunelerde % 6 iken evsel cam atık tozunda bu değer % 7 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak cam atığı katkılı karışımların Marshall stabilite değerleri, şahit karışımlarına göre biraz daha düşük çıkmıştır. Ancak tüm filler tipleri (kireçtaşı, cam kırıntısı ve evsel cam atıkları) için Marshall stabilitesi ve akma değerleri, KTŞ limitlerini karşılamış ve bu cam atık tozlarının asfalt beton karışımlarında mineral filler maddesi olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Ural ve Yakşe (2015) yapmış oldukları çalışmada, Bilecik ili mermer ocaklarında meydana gelen atık mermerlerin, yol inşaatında temel tabakasında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada, Los Angeles deneyi, yassılık indeksi deneyi, hava tesirleri ve donmaya karşı dayanıklılık deneyi, organik madde tayini deneyi, su emme deneyi, metilen mavisi deneyi ve Atterberg kıvam limitleri deneyleri yapılmıştır. Mermer atıkları KTŞ 2013' de belirtilen temel tabakası gradasyonuna uygun şekilde hazırlanarak şartnamede verilen fiziksel özellikleri sağlayıp sağlamadığı değerlendirilmiştir. Sonuç olarak Bilecik ilinde bulunan mermer atıklarının KTŞ' de verilen temel tabakası malzemesinin fiziksel özelliklerini sağladığı ve mermer atıklarının alt temel gradasyonuna uygun şekilde getirildiğinde alt temelde de kullanılabilceği görülmüştür.

Aslan (2015) yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında, Taş Mastik Asfalt (TMA) karışımlarda filler olarak Bursa ili döküm fabrikalarında meydana gelen atık döküm kumları ve Kayseri ili çinko fabrikalarında açığa çıkan çinko cürufu endüstriyel atıklarını kullanmıştır. Kayseri ilinde bulunan diatomit ve Nevşehir ilinde bulunan pomza doğal atıklarını da TMA karışımlarda elyaf yerine kullanmıştır. Çalışma kapsamında Marshall briketleri hazırlanmış ve bu briketlere yapılan deneyler ile Marshall parametreleri belirlenmiştir. Çıkan sonuçlar şahit numunelerle karşılaştırılmıştır. Daha sonra optimum bitüm içeriği belirlenen atık katkılı briketlere indirekt çekme deneyi yapılmış ve sonuç olarak bu atık malzemelerin TMA karışımlarında kullanılabilirliğinin yüksek olduğu görülmüştür.

Ontürk ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, uçucu kül ve mermer tozu atıklarının temel tabakası stabilizasyonundaki serbest basınç dayanımı ve rijitlikleri üzerine etkisini

araştırmıştır. Bu atıklar alt temel tabakasında değerlendirilmek üzere tabii zemine %5, %10 ve % 15 oranlarında katılmıştır. Daha sonra hazırlanmış olan numuneler 7 ve 14 gün küre tabii tutulmuştur. Kür süresi sonunda numunelerin standart kompaksiyon ve kaliforniya taşıma oranı (CBR) değerleri belirlenmiştir. Sonuç olarak doğal zemine ilave edilen atıkların CBR değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir.

Mazlum (2014) yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında, kullanım ömrünü tamamlayan asfalt kaplamaların kazınarak, bitümlü sıcak karışımlarda tekrardan kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada kullanılan malzeme İstanbul bölgesinde yer alan ve ekonomik ömrünü tamamlayan asfalt kaplamaların kazınması ile elde edilmiştir. Bu malzemeden farklı oranlarda (%10, %25 ve %40) alınarak karışım numuneleri hazırlanmıştır. Bu briketlere Marshall deneyleri yapılmış, yoğunluk ve boşluk değerleri hesaplanmış, elde edilen sonuçlar sahadan alınan karot numunelerle ve şahit numunelerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak stabilitenin katkı oranı arttığında azaldığı tespit edilmiştir. Fakat bu azalma miktarının çok önemli seviyede olmadığı, stabilite değerlerinin şartname sınırları içerisinde kaldığı ve katkı oranının artması ile maliyetin de azaldığı görülmüştür.

Ceylan ve Mança (2013) yaptıkları çalışmada, mermer üretimi esnasında meydana gelen iri parçalı atık mermerlerin beton agregası olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında atık mermer parçalarına ve mevcut olarak betonda kullanılan kırmataş agregalar üzerinde standart deneyler yapılmıştır. Sonrasında ise atık mermer parçaları ve şahit agrega malzemeleri ile beton numuneler üretilmiştir. Bu iki agrega grubuyla elde edilen beton numuneleri basınç dayanımı, Schmidt yüzey sertliği ve ultrasonik ses geçirgenliği deneylerine tabii tutulmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak atık mermer parçaları ile üretilen beton numunelerinden elde edilen dayanım değerlerinin şahit agrega ile üretilen beton numunelerin dayanım değerine çok yakın olduğu ve mermer atıklarının beton agregası olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Sargın ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, pirinç kabuğu külünün bitümlü sıcak karışımlarda mineral filler malzemesi olarak kullanılmasını araştırmışlardır. Bu amaçla ilk aşamada dört farklı oranda (% 4, % 5, % 6 ve % 7) kireçtaşı mineral filler malzemesi kullanılarak Marshall numuneleri hazırlanmıştır. Bu numunelere Marshall testleri yapılarak optimum bitüm oranı ve Marshall Stabilite değerleri (MS) belirlenmiştir.

Sonuçta optimum filler ve bitüm oranı sırasıyla % 5 ve % 4,73 olarak tespit edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise ilk bölümde belirlenen optimum filler ve bitüm içeriği ile numuneler hazırlanmıştır. Bu aşamada kireçtaşı kökenli filler malzemesi asfalt karışımlarda % 25, % 50, % 75 ve % 100 oranında pirinç kabuğu külü filler malzemesi ile değiştirilerek kullanılmıştır. Sonrasında ise üretilen numuneler üzerinde Marshall testleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Test sonuçlarında % 50 pirinç kabuğu külü ve % 50 kireçtaşı filler malzemesi (%2.5 pirinç kabuğu külü ve %2.5 kireçtaşı filler malzemesi) karışımının en yüksek stabiliteyi verdiği görülmüştür. Sonuç olarak pirinç kabuğu külü atığının asfalt beton karışımlarında kireçtaşı yerine mineral filler malzemesi olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Akbulut ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada, kuvarstan oluşan kesme ve cilalama işlemleri sırasında granit temizliğinde kullanılan suyun arıtılmasından kaynaklanan çamurun, bitümlü sıcak karışımlarda dolgu maddesi olarak kullanımını test etmişlerdir. Granit çamuru kurutulup öğütülmüş ve No.200 elekten elenerek bitümlü sıcak karışım örneklerinin üretiminde kullanılmıştır. Atık malzeme, karışımındaki optimum filler oranını bulmak için % 0, % 2, % 4, % 6 ve % 8 oranlarında filler maddesi olarak kullanılmıştır. Dolgu oranlarının her biri için Marshall metodu kullanılarak bir tasarım yapılmış ve optimum bitüm oranları belirlenmiştir. Optimum bitüm oranlarına sahip her örnek için Marshall testleri ve dolaylı çekme testleri yapılmıştır. Test sonuçları, granit çamurun bitümlü sıcak karışımlarda dolgu maddesi olarak %7.3 oranında kullanılmasının, aşınma tabakası karışımlarının mühendislik özelliklerini geliştirebileceğini göstermiştir.

Kara (2012) yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında, KTSŞ binder gradasyonuna göre hazırlanmış olduğu agrega karışımının içerisine, agrega ağırlığının %0, 10, 20, 30 ve 40' 1 oranında fayans atığı katmıştır. Hazırlanmış olduğu agrega karışımlarına 7 farklı oranda (%3.5-6.5) bitüm ilave ederek Marshall numuneleri üretmiştir. Her bir agrega grubu için optimum bitüm miktarını belirlemiştir. Sonuç olarak fayans agregası ilavesinin artması ile optimum bitüm miktarının arttığı görülmüştür. Fayans atığı oranı arttıkça stabilite değeri azalmış, fakat ortalama stabilite değerlerinin şartname limitlerini sağladığı görülmüştür. Veriler incelendiğinde, şahit numunelerin sonucuna en yakın değerlerin %10 atık fayans ilaveli numunelerden elde edildiği görülmüştür. Atık

fayansın aşınma ve binder tabakalarında agrega olarak kullanımının uygun olduğu tespit edilmiştir.

Ektaş (2011) yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında, 30 MPa basınç mukavemetine sahip beton numunelerin kırılmasıyla elde edilen geri dönüşüm agregalarının, sıcak asfalt karışımlarda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada kullanılan agregalar, asfalt karışıma % 10, 20, 30 ve 40 oranlarında ilave edilmiş ve her bir yüzde değeri için 21 adet asfalt briketi üretilmiştir. Asfalt karışımlarda, % 3,5 - 6,5 arasında değişen oranlarda bitüm kullanılarak optimum bitüm içeriği tespit edilmiştir. Yalnızca kırmataş agrega kullanılarak ise 21 adet şahit asfalt numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanmış olan tüm numunelere sünme ve Marshall dayanım testleri uygulanarak sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak karışımdaki geri dönüşüm agreganın oranı arttıkça karışımın Marshall dayanımı düşerken akma miktarının ise arttığı görülmüştür. Tüm sonuçlar incelendiğinde ise geri dönüşüm agregasının düşük trafik hacimli yollarda kullanımının uygun olduğu tespit edilmiştir.

Yılmaz ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, sıcak karışım asfaltın mühendislik özelliklerini, asfaltit içeren mineral dolgu kullanarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada sıcak karışım asfaltta asfaltitin kullanma olasılığını analiz etmek için mineral dolgu oranına göre % 25, % 50, % 75 ve % 100 karışım oranları kullanılarak numuneler hazırlanmıştır. Filler halinde öğütülmüş olan asfaltit, kireçtaşı filler malzemesi ile belirli miktarlarda değiştirilerek sıcak karışım asfaltta kullanılmıştır. Örnekler şahit, %25 katkılı (F25), %50 katkılı (F50), %75 katkılı (F75), ve %100 katkılı (F100) olmak üzere beş gruba ayrılmıştır. Asfaltit % 20 bitüm içerdiğinden, karışımların toplam filler içeriği toplam agrega ağırlığına göre F25, F50, F75 ve F100 için sırasıyla % 5.7, % 5.4, % 5.1 ve % 4.8 olarak alınmıştır. Optimum bağlayıcı içerikleri şahit numune, F25, F50, F75 ve F100 numuneleri için sırasıyla % 4.91,% 4.84,% 4.71,% 4.61 ve % 4.56 olarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre, asfaltitin bütün bir dolgu maddesi olarak kullanılmasının, Marshall stabilitesini % 27 oranında, sertlik modülünü ise 15° C' de % 91 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Çekme dayanımı testinin sonuçlarına göre ise şahit karışımların bir donma-çözme döngüsünden sonra gerilme dayanımı oranının %35' ini kaybettiği, fakat dolgu maddesi olarak tamamen asfaltit içeren karışımların sadece % 13' ünü kaybettiği bulunmuştur. Test sonuçlarına göre sıcak karışım asfaltta

dolgu maddesi olarak asfaltit kullanılmasının özellikle nem hasarına ve yorulma ömrüne karşı direnci artırarak yüksek performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Chen ve ark. (2010) yapmış oldukları çalışmada, geri dönüştürülmüş tuğla tozunun asfalt karışımlarda mineral filler olarak kullanılmasını araştırmışlardır. Çalışma kapsamında geri dönüştürülmüş tuğla tozu ve kireçtaşı filler malzemesi kullanılarak oluşturulan iki karışımın performansı karşılaştırılmıştır. Deneyler kapsamında, dolaylı çekme testleri, statik ve dinamik sünme testleri, nem hassasiyeti ve yorulma testleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalar neticesinde geri dönüştürülmüş tuğla tozu ile hazırlanan karışımların, kireçtaşı dolgulu karışımlardan daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu, kalıcı deformasyonu önemli ölçüde azalttığı, asfalt karışımların nem hassasiyetini ve yorulma ömrünü artırdığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, geri dönüşümlü tuğla tozunun bitümlü sıcak karışımda mineral dolgu maddesi olarak kullanılmasının mümkün olduğu ve bu çalışmadan elde edilen sonuçları desteklemek için saha performansı konusunda daha fazla araştırma yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Üstüncöl ve Turabi (2009) yaptıkları çalışmada, mermer tozu, uçucu kül, fosfoalçı ve cam tozu gibi endüstriyel atık malzemelerinin asfalt kaplama karışımlarında % 7 - % 0 arasındaki değerlerde filler malzeme olarak kullanımını incelemiştir. Optimum bağlayıcı oranının belirlenmesi için % 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6 ve 6.5 oranlarında bitüm kullanılarak Marshall numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere Marshall stabilite deneyi uygulanarak optimum bitüm yüzdesi belirlenmiştir. Bitüm miktarı sabit tutularak (%4.9) farklı oranlarda taş tozu ve endüstriyel atık filler (mermer tozu, uçucu kül, fosfojips ve cam tozu) malzemeleri ile hazırlanan bitümlü karışımlara Marshall stabilite deneyi uygulanmış ve Marshall parametreleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak farklı endüstriyel atık filler yüzdeleri ile hazırlanan bitümlü karışımlarda Marshall stabilite değerleri şartname değerlerine yakın çıkmıştır. Fakat şartnameye en uygun ve en yakın değerler % 4 taş tozu - % 3 endüstriyel atık filler ve % 3 taş tozu - % 4 endüstriyel atık filler yüzdelerinde elde edilmiştir. Taş tozu fillerin yerine %7 oranında atık filler kullanılsa dahi şartname limitlerini sağladığı sonucuna varılmıştır.

Ahmedzade ve Şengöz (2008) yapmış oldukları çalışmada, çelik çürufunun kaba agrega olarak kullanımının sıcak karışım asfaltın özelliklerine olan etkisini araştırmıştır. Optimum bitüm içeriğini belirlemek için Marshall yöntemi kullanılmıştır. Numuneler

iki tip asfalt çimentosu (AC-5; AC-10) ve iki tip kaba agrega (kireçtaşı (LS); çelik cürufu (SS)) kullanılarak dört farklı şekilde hazırlanmıştır. Tüm karışımların mekanik özellikleri; Marshall stabilitesi, indirekt çekme dayanımı ve sünme dayanımı testleri ile değerlendirilmiştir. Ayrıca numunelerin elektrik hassasiyeti de araştırılmıştır. Sonuç olarak kaba agrega olarak kullanılan çelik cürufunun asfalt karışımlarının mekanik özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür. Marshall stabilitesi ve akma testlerinden elde edilen sonuçlara göre, çelik cüruf karışımlarının kireçtaşı karışımlarından daha iyi sonuçlara sahip olduğu tespit edilmiştir. Hazırlanan numunelerden özellikle AC-10 / SS asfalt karışımının test edilen karışımlar arasında en iyi performansı sergilediği görülmüştür. Ayrıca hacim direnç değerleri, çelik cüruf karışımlarının elektrik iletkenliğinin, kireçtaşı karışımlarından daha iyi olduğunu göstermiştir.

Gürer (2005) yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında, Afyon ili ve çevresinde ortaya çıkan atık mermer parçalarının, bitümlü sıcak karışımların binder tabakasında kullanılabilirliğini incelemiştir. Çalışma kapsamında mermer ve andezit ocaklarından alınan parçalar (A ve B) laboratuvar tipi konkasör yardımıyla parçalanmıştır. Ayrıca deneylerde iki farklı şahit agrega (C ve D) kullanılmıştır. Deneyler kapsamında agrega deneyleri ve sıcak karışım deneyleri yapılarak sonuçlar birbiriyle kıyaslanmıştır. Sıcak karışım deneylerinde Marshall yöntemi kullanılmıştır. Her bir agrega grubunda 18 adet olmak üzere toplamda 72 adet Marshall numunesi üretilmiştir. Sonuç olarak mermer ocağı atıklarından üretilen agregaların hafif ve orta trafik hacimli asfalt kaplamaların binder tabakasında kullanılabileceği tespit edilmiştir.

2.1. Agrega

Agrega, inşaat mühendisliği uygulamalarının vazgeçilmez ana malzemelerinden biridir. Çakıl, kum, kırmataş veya cüruf gibi mineral kompozisyonlu malzeme veya bu malzemelerin karışımı agrega olarak tanımlanmaktadır (Baradan ve ark., 2012). Yol üstyapısının genel iskeletini agregalar oluşturmaktadır. Üstyapının hacimce %75-85' ini, ağırlıkça %90-95'ini oluşturan agreganın esas görevi, üstyapının yük taşıma kapasitesini sağlamaktır (Önal ve Kahramangil, 1993). Agregalar yola etki eden yüklerin oluşturduğu gerilmelere karşı önemli rol üstlenmektedir. Bu sebeple yolların yapımında kullanılmadan önce agrega tiplerinin karakteristiklerinin tespit edilmesi

gerekmektedir (İlıcılı ve ark., 2001). Agregaları orijinlerine göre doğal agregalar ve yapay agregalar olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür.

2.1.1. Doğal agregalar

Doğal şekilde oluşan kayalardan, fiziksel yolla doğrudan elde edilen agregalara doğal agrega denir. Değişik yapılardaki kristallerin ve mineral tanelerinin bir araya gelmesiyle kayalar oluşur. Kayaların özellikleri; mineral, mineraller arası bağların cinsi, doku gibi kayanın orijinine dayanan hususlara bağlıdır. Kum ve çakıl gibi yol üstü yapısında kullanılan doğal agregalar; derelerden, eski dere yataklarından oluşan ocaklardan, yamaç, ova ve çöllerden elde edilirler (İlıcılı ve ark., 2001).

Dane boyutu 4,75 mm ile 75 mm arasında olan malzemeye çakıl denir. Kayaların fiziksel yollarla parçalanması sonucu oluşan çakıllar; akarsu, rüzgar, yer çekimi ya da buzul hareketleri ile taşınarak yığınlar haline gelir. Çakıllar, bazı bölgelerde tek cins kayadan meydana gelirken bazı bölgelerde çeşitli kaya cinslerinin karışımı şeklinde meydana gelmektedir. Tüm çakılların ortak özelliği ise irili ufaklı parçalardan oluşmuş olması, yuvarlak, şekilsiz ve akarsuların aşındırıcı etkileri sonucu pürüzsüz yüzeye sahip olmalarıdır (Umar ve Ağar, 1991).

Kum, kayaların ayrışmasından sonra defalarca aşınma-birikme işleminden geçmesi sonucunda oluşan kalıntılardır. Kumun dane boyutu 2 mm' den başlayıp toz inceliğine kadar gitmektedir (Umar ve Ağar, 1991).

2.1.2. Yapay agregalar

Malzemelerin fiziksel ve kimyasal başkalaşımı sonucunda elde edilen agregalara yapay agrega denilmektedir. Bu agregalar bazen suni veya sentetik agrega olarak da adlandırılmaktadır. Bu malzemeler; cevherin işlenmesi sonucu oluşan yan ürünün şeklini alırlar veya agrega olarak kullanmak için hammaddelerden özel olarak üretilmektedirler (Önal ve Kahramangil, 1993). En yaygın yapay agrega çeşitleri çimento, klinker ve cürüftür.

Cüruf, demir-çelik endüstrisinde demir oksidin yüksek fırınlarda eritilmesi sırasında oluşan bir yan üründür. Cüruflar yol üstü yapısının çeşitli tabakalarında kullanılmaktadır.

Çimento, yol üstyapısında agrega karışımında filler olarak kullanılır. Burada çimentonun filler olarak kullanılmasındaki amaç bağlayıcılık özelliklerinden faydalanmak değildir. Çimentonun granülometrik bileşimi ve bitümlle herhangi bir tepkimeye girmemesinden dolayıdır (İlıcılı ve ark., 2001).

Klinker; fırınların artığı olan klinker, küllerin eriyerek topaklar haline gelmesiyle oluşur. Klinker şartnamelere uygun şekilde hazırlandıktan sonra yol üstyapısında kullanılabilir (Umar ve Ağar, 1991).

2.1.3. Bitümlü kaplamalar yönünden agrega

Yol üstyapısında kullanılacak olan agreganın kökeni fark etmeksizin, şartnamelerde kaplama tipleri için verilen özellikleri sağlaması gerekir. Bitümlü sıcak karışımlarda agregalar; kaba agrega, ince agrega ve mineral filler olarak üç grupta incelenmektedir. Bu malzeme gruplarının her biri karışımın özelliklerini kontrol eder (Umar ve Ağar, 1991).

Kaba agrega

Agrega karışımındaki malzemelerin No. 4 (4,76 mm.) elek üzerinde kalan kısmına kaba (iri) agrega adı verilir. Kaba agregalar bitümlü karışımın esas iskeletini oluşturmaktadırlar (Umar ve Ağar, 1991).

İnce agrega

Agrega karışımındaki malzemelerin No. 4 (4,76 mm) ile No. 200 (0,075 mm) elekler arasında kalan kısmına ince agrega adı verilir. İnce agrega, kaba agreganın oluşturmuş olduğu yapının boşluklarını doldurarak yoğun bir karışımın elde edilmesini sağlar. Karışımın deformasyonlara karşı direncini etkilediğinden, ince agreganın yüzey dokusu da oldukça önemlidir. Örneğin; pürüzsüz çakıl kumu, cüruf veya kırma malzemeye göre daha düşük deformasyon direnci sağlar (Umar ve Ağar, 1991).

Mineral filler

No.200 (0.075 mm) eleğinden en az % 65'i geçen malzemeye mineral filler denilmektedir. Toplam agregaya karışımının çok küçük bir yüzdesini oluşturan mineral filler, karışım özelliklerinin düzenlenmesinde büyük rol oynamaktadır. 0,075 mm elekten geçen her malzeme filler görevi görmez. Bu nedenle filler malzemesi düzgün granülometrik bileşime sahip olmalıdır.

Mineral fillerde diğer bir önemli husus danelerin şeklidir. Düz, uzun ve yassı danelerin fazla olması filler malzemenin özelliğini düşürdüğü için köşeli danelerin fazla olması istenmektedir. Ayrıca filler malzemesi bitümlü malzemeler ile herhangi bir kimyasal reaksiyona girmemelidir (Umar ve Ağar, 1991).

2.1.4. Esnek üstyapı tasarımında kullanılan agregaların özellikleri

Gradasyon

Gradasyon, agregaya karışımı içerisindeki malzemelerin dane boyutları dikkate alınarak karışımındaki dağılımlarının ve ağırlıkça oranlarının belirlenmesi şeklinde ifade edilmektedir. Agregaların karışım içerisindeki oranları elek analizi deneyi belirlenmektedir. Yol kaplamasını oluşturan tabakaların her birinin kalınlığı ve performans özellikleri birbirinden farklıdır. Bu yüzden her tabakanın agregaya gradasyonu farklı olmalıdır (Kara, 2012).

Yoğun-sürekli gradasyon, iyi derecelenmiş gradasyon olarak da bilinmektedir. Elek analizi grafiğinde sürekli bir eğri çizen bu gradasyon türü, minimum boşluk (maksimum yoğunluk) ve yüksek stabiliteye sahiptir. Yoğun-sürekli gradasyonda agregaya boyutları kabadan inceye doğru en uygun oranlarda bulunduğu için karışımındaki boşluklar en iyi şekilde dolmaktadır.

Boşluklu-sürekli gradasyon, ince malzemenin bulunmadığı gradasyon türüdür. Açık gradasyon da denilen bu gradasyon türünde ince agregaya olmadığı için boşluk oranı yüksektir. Bu özelliğinden dolayı drenaj, filtre gibi amaçlarla donatı karşı duyarsız tabakalarda kullanılmaktadırlar. Ayrıca trafik hacminin düşük olduğu yolların temel tabakasında kullanılabilirler.

Tek boyutlu gradasyon tipinde, danelerin çoğu neredeyse aynı boyuta sahiptir. Üniform gradasyon olarak da isimlendirilen bu gradasyon türü, sathi kaplama ve koruyucu-örtü tabakası gibi düşük standartlı yol kaplamasında kullanılmaktadır.

Kesikli gradasyon tipi, belirli dane boyutlarını ihtiva etmediği için boşluk oranı fazladır. Bu tip gradasyon yol kaplamalarında genelde kullanılmamaktadır. Ancak beton içerisinde belirli limitler dahilinde kullanımına izin verilebilir (Kara, 2012).

Dane şekli ve biçimi

Agrega danelerinin şekli ve yapısı kaplamanın performansını belirleyen önemli etkenlerden biridir. Dane şekli, karışımın işlenebilirliğini ve stabilitesini etkilediğinden oldukça önemli bir kavramdır. Karışımlarda kırılmış, köşeli danelerin kullanılması gerekmektedir. Yassı ve uzun agrega daneleri sıkıştırma ve trafik etkisiyle kırılmaktadır. Bu tip agrega daneleri kırıldığında agrega gradasyonunun bozulması, işlenebilirliğin düşmesi, karışımın stabilitesinin azalması gibi olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Köşeli, kübik ve açısız kenarlı (kırmataş) agregaların kenetlenme özelliği; uzun, yuvarlak ve yassı daneli agregalara göre daha fazladır. Bunun sebebi temas noktasının yüksek olmasıdır. Köşeli agregalar daha güçlü bir kenetlenme özelliğine sahip olduğundan karışımın rijitliğini artırmakta ve deformasyon direncini yükseltmektedir. Bu nedenle üstyapı tabakalarında kırmataş agregalar tercih edilmelidir (Tunç, 2004; Arslan, 2014).

Porozite

Agrega daneleri için önemli olan bir diğer özellik porozitedir. Danelerin porozitesi (su emme yeteneğine sahip boşlukların miktarı) yeterli miktarda olmalıdır. Agregas-asfalt adezyonu için son derece önemli olan porozite, bitümün emilmesini sağlayarak agrega ile bağlayıcı film tabakası arasında kuvvetli bir adezyon oluşturmakta ve stabilitenin artmasını sağlamaktadır (Kara, 2012).

Burada aşırı poroz agregadan kaçınılması gerektiği unutulmamalıdır. Zira porozitenin yüksek olması agrega danelerinin özgül ağırlığının ve stabilitesinin düşük olmasına neden olmaktadır. Ayrıca kullanılacak asfalt miktarını artırdığı için sıcak havalarda

terleme-kusma problemlerine sebep olmakta ve yüksek maliyetlere yol açmaktadır. Bu sebeple bitümlü sıcak karışımlarda aşırı poroziteye sahip agregalar kullanılmamalıdır (Arslan, 2014).

Danelerin yüzey yapısı

Agrega-asfalt adezyonunu ve üstyapı performansını büyük ölçüde etkileyen bir diğer faktör de danelerin yüzey yapısıdır. Agregada danelerini yüzey dokusuna göre cilalanmış, az pürüzlü, pürüzlü ve çok pürüzlü şeklinde sınıflandırmak mümkündür. Danelerin yüzeyinin pürüzlülük durumu üstyapının yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Pürüzlü yüzeye sahip danelerin kayma gerilmelerine karşı gösterdiği direnç, cilalı yüzeye sahip danelerden daha yüksektir. Bu nedenle bitümlü sıcak kaplamalarda yüzey dokusu daha pürüzlü olan kırmataş agregalar tercih edilir. Bu agregalar cilalı yüzeye sahip danelerden daha iyi adezyon sağladıklarından kaplamanın stabilitesini de önemli ölçüde artırmaktadırlar. (Tunç, 2004; Önal ve Kahramangil, 1993).

Sağlamlık (dane dayanımı)

Bitümlü karışımlarda kullanılacak agregalar, üstyapı kaplaması yapımına elverişli, dayanıklı malzeme olmalıdır. Bu agregalar trafik yükleri altında ayrışmaya karşı dirençli olmalıdır. Agregaların kullanım özelliklerini etkileyen bir diğer faktör de donma-çözülme işlemleridir. Hava tesirlerine maruz kalan agregada danelerinin gradasyonu donma-çözülme işlemleri sonucunda bozulmaktadır. Bu yüzden agregada donma-çözülme etkilerine karşı dirençli olmalıdır. Esnek kaplamalarda üst katmanların maruz kaldığı gerilme, alt katmanlara göre daha yüksek olduğundan üst katmanlarda yoğun gradasyonlu malzemelerin kullanılması gerekmektedir.

Cilalanma direnci (kaymaya karşı direnç)

Bitümlü sıcak karışımların en üst katmanı olan aşınma tabasındaki agregada daneleri, trafik yükleri altında aşınmaya maruz kalmaktadır. Kaplama yüzeyi bu durumdan dolayı pürüzlülük özelliğini kaybedip cilalı bir hale gelmektedir. Bu olay sonucunda agregaların sürtünme direnci azalarak sürüş emniyeti düşmektedir. Bu nedenle

üstyapının özellikle en üst katmanında cilalanmaya karşı dirençli olan agregalar tercih edilmelidir (Tunç, 2004; Yavuz, 2018).

Bitümle kaplanabilme (soyulmaya karşı dayanım)

Yol üstyapısında kullanılan agregaların tümü suya maruz kalmaktadır. Bu sebeple bitümlü kaplamalarda kullanılacak olan agregalar bağlayıcı madde ile kaplandıktan sonra suyun etkisi ile soyulmamalıdır. Yani bağlayıcı madde (bitüm) agrega danelerinden ayrılmamalıdır. Soyulma direnci düşük olan agregaların kullanılabilmesi için sıcak karışıma özel katkı malzemelerinin ilave edilmesi gerekir (Önal ve Kahramangil, 1993).

2.2. Mermer

2.2.1. Mermerin tanımı ve özellikleri

Doğadan çıkarıldıktan sonra işlenen ve yapı işlerinde kullanılmaya elverişli olan malzemelere doğal taş denir. Doğal taşlar; başkalaşmış taşlar, tortul taşlar ve püskürük taşlar olmak üzere üç grupta incelenebilir. İnsanoğlu tarafından tarih boyunca yapılarda dayanıklılığı ve estetikliği nedeniyle kullanılan en eski inşaat malzemelerinden biri olan mermer, doğal taşlar grubunun başkalaşmış taşlar kategorisinde yer almaktadır (Ertaş ve ark., 2011). Mermer terimi hakkında çok farklı tanımlar olmasına rağmen bu tanımlar genel olarak petrografik ve ticari tanım olmak üzere iki grup altında incelenebilmektedir.

Mermerin petrografik tanımı

Petrografik tanım, kimi kaynakta jeolojik tanım olarak kiminde ise bilimsel tanım olarak bilinmektedir (Sarıtaş, 2006). Bu tanımda mermer; kalker (CaCO_3) ve dolomitik kalkerlerin ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) basınç ve ısı altında başkalaşım geçirmek suretiyle kristalleşmesi neticesinde farklı bir yapı kazanarak meydana gelen bir kaya tipi şeklinde ifade edilmektedir. Bu kayaçlar bünyesinde az miktarda magnezyum karbonat, yüksek miktarda kalsiyum karbonat ve farklı metal oksitler içermektedir. Saf durumda bulunan mermer yarı saydam ve beyaz iken bünyesinde oluşan çeşitli kimyasal ve fiziksel

çözümler ile farklı renklere (pembe, sarı, vişne rengi, bej, siyah vs.) sahip olabilmektedir. Buna ek olarak jeolojik hareketler sonucunda mermer bloklarının kırılması ve oluşan bu boşlukların kalsit ile dolması sayesinde mermere estetik görüntü sağlayan damarlı bir yapı meydana getirmektedir (Okubay, 2016; Sarıtaş, 2006).

Mermerin ticari tanımı

Petrografik tanım dışında mermerin bir diğer tanımı da endüstriyel veya ticari anlamdaki tanımıdır. Ticari standarda sahip ebatlarda blok şeklinde kesilebilen, yüzey dokusu işlenebilen, parlatılan ve taş özellikleri kaplama taşı özelliklerine uygun olan metamorfik, tortul veya magmatik her tür doğal taş mermer olarak adlandırılır. Özetle kolay bir şekilde kesilen, parlatılabilen, cilalanan ve işlenen her türlü taşta mermer diyebiliriz (Okubay, 2016; Sarıtaş, 2006; Ertaş ve ark.,2011).

2.2.2. Mermerin oluşumu

Kalker diye isimlendirilen kireçtaşının metamorfizma geçirmesi sonucunda mermer oluşur. Çoğu mermerin oluşum aşaması olan bu metamorfizma, çok derinde depolanan kalkerin üzerine etkileyen yüksek sıcaklık ve şiddetli basınç sonucunda oluşur. Bu yüzden bunlara “kristalize kalker” adı da verilmektedir. Mermerin temel yapı taşını oluşturan kalker kalsit kristallerinden meydana gelmektedir. Kalsit, kalsiyumlu taşların değişimlerinden, karstik yerlerdeki çökeltilerden (travertenler), kendi eriyiğinden oluşur. Yüksek sıcaklık ve basınç altında kristaller arasındaki boşluklar kaybolduğundan, kalkere göre daha sert bir yapıdadır (Sarıtaş, 2006; Okubay, 2016).

2.2.3. Mermerin özellikleri

Mermerde bulunması gereken başlıca özellikler; sertlik, renk, desen, parlaklık, doku, cilaya karşı duyarlılık ve blok elde edebilme oranıdır. Saf haldeki mermer beyaz renkte parlak iken mermerler krem, bej, gri, sarı, siyah gibi çok farklı renklere sahiptir. Mermerler tek renge sahip olabileceği gibi damarlı ya da benekli şekilde de olabilir. Bu şekilde mermerin kullanılacağı alana göre istenilen renk veya desen tercih edilebilmektedir (Özmen, 2003).

Basamak ve döşemelerde saf kalsit mermerlerinin kullanılması hızlı bir aşınmaya neden olmaktadır. Bunun aksine içeriğinde yeteri miktarda silikat ve kuvars minerali içeren mermerlerin daha dayanıklı olduğunu söylemek mümkündür. Sertliği az olan mermerin aşınmaya karşı dayanıklılığı az olduğu için deformasyonları kolaydır. Buna karşın sert mermerin ise kesilmesi, ocaktan çıkarılması ve parlatılması daha zor ve maliyetlidir. Bir diğer önemli özellik ise gözenekliliktir. Mermerde gözeneklilik, bünyesine su girmesine ve donma-çözülme ile mikro çatlakların meydana gelmesine sebep olduğu için istenmeyen bir özelliktir.

Özetle mermerde aranan özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Minimum çatlığa sahip ve sağlam olması,
- Mermeri oluşturan minerallerin oksidasyona, ayrışmaya ve güneş ışığında renk değiştirmeye karşı dayanıklı olması,
- Desen, doku, renk dağılımı ve yapı yönünden homojen olması,
- İstenilen şekilde kesilerek şekillendirilebilmesi, parlatılarak yüzeyinin işlenebilir olması,
- Çeşitli özelliklerinin yapı ve kaplama taşı standartlarında belirlenen sınır değerlerin üzerinde olması istenmektedir (Sarıtaş, 2006; Özmen, 2003).

2.2.4. Mermerin sınıflandırılması

Mermerler oluşum yapısı bakımından jeolojik ve ekonomik olmak üzere iki temel başlıkta sınıflandırılabilirler (Özmen, 2003).

Jeolojik sınıflandırma

Jeolojik bakımdan mermerleri oluşumlarına (kökenlerine) ve mineralojik yapısına göre iki temel başlık altında sınıflandırabiliriz.

Mermerlerin jeolojik oluşumlarına (kökenlerine) göre sınıflandırılması

Mermerler oluşumları bakımından aşağıdaki gibi üç temel grupta toplanmaktadır.

- i. Magmatik oluşumlu mermerler

- ii. Sedimanter (tortul) mermerler
- iii. Metamorfik mermerler

Magmatik oluşumlu mermerler

Yer kabuğunun altındaki magmanın yer kabuğuna sokulması ya da yeryüzüne çıkması sonucunda meydana gelirler. Sedimanter oluşumlu mermerlere kıyasla daha dayanıklı ve sert olmasına rağmen işlenmesi ve çıkarılmaları daha zordur. Magmatik oluşumlu mermerler kendi aralarında yüzey kayaçları, damar kayaçları ve derinlik kayaçları olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Sarıtış, 2006; Okubay, 2016).

Sedimanter (tortul) mermerler

Tortullaşma (sedimantasyon) olayının sonucunda meydana gelen kayaçlara tortul (sedimanter) kayaçları denir. Sedimanter mermerler, çeşitli kayaçların dış etkenler tarafından parçalanıp taşınarak uygun bir yere birikmesi ile çimentolaşması sonucu oluşmaktadır. Bu tip kayaçlar genelde tabakalı ve fosil içerikli kayaçlar olarak da bilinmektedir. Sedimanter mermerler kendi içlerinde özelliklerine göre detritik ve organik olmak üzere iki gruba ayrılır (Okubay, 2016).

Metamorfik mermerler

Bu mermerler sedimanter ve magmatik kaynaklı kayaçların değişen basınç ve sıcaklık altında katı halde dokusal ve mineralojik değişime uğraması ile meydana gelmektedir. Petrografik kayaç ve benzeri kalkerlerin başkalaşıma uğraması ile oluşmuştur. Renkleri açık gri ve beyaz tonlu olup şist, fillit, sopolen, gnays, amfibolit, eklojit vs. mermerler bu gruba girmektedir (Sarıtış, 2006; Özmen, 2003).

Mineralojik sınıflandırma

Mermerler oluşumları sırasında değişik derinliklerdeki sıcaklık ve basıncın etkisiyle fiziksel, kimyasal ve mineralojik değişiklikler sonucunda oluşmakta ve bu durum neticesinde bünyesine giren çeşitli mineral türlerine göre renklenme ve yapısal olarak çeşitli değişiklikler göstermektedirler. Bu değişikliklere göre mermerleri kristal

boyutlarına ve mineral birleşim oranlarına bağlı olarak iki sınıfa ayırabiliriz (Okubay, 2016).

Kristal boyutlarına göre sınıflandırma

Mermerler çıplak gözle bakıldığında veya mikroskop ile incelendiğinde kristal taneciklerinden oluştuğu kolaylıkla görülebilir. Mikroskop altında incelenen mermerler, içerisindeki kristal tanecik boyutlarına göre sınıflandırılabilirler. Çizelge 2.1’ de mermerlerin kristal boyutları gösterilmiştir (Okubay, 2016).

Çizelge 2.1. Mermerlerin kristal boyutuna göre sınıflandırılması (Köktürk, 2002)

Kayaç Cinsi	Kristal Boyutu
İnce Kristalli Mermer	< 1 mm
Orta Kristalli Mermer	1 mm-5 mm
İri Kristalli Mermer	5 mm-20 mm

Mineral bileşim oranlarına göre sınıflandırılma

Mermerler, içerisinde bulunan minerallerin bileşimlerine ve yüzdesel oranlarına göre Çizelge 2.2’ de olduğu gibi sınıflandırılabilmektedir (Uyanık, 2001).

Çizelge 2.2. Mermerlerin mineral bileşim ve oranlarına göre sınıflandırılması

Cinsi	Diğer Mineraller	Kalsit %	Doku- Yapı
Mermer	Kuars, Opak, Mika	95	Taneli- Masif
Kalsit	Lepidolit, Epidot, Mika, Klorit	60-70	Yönlü- Şist
Sopolen	Giona, Diyopsit, Flogopit, Plajiyoklas, Tremalit	80	Yönlü- Şist
Mermer Skarn	Plajiyoklas, Olivin, Granat, Diyopsit, Epidot	80 – 90	Taneli- Masif

Ekonomik sınıflandırma

Mermer kayaçlarının dokusuna ve mineralojik yapısına bakılmadan bilimsel tanımlamaların dışında yapılan sınıflandırma şeklidir (T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, 1995). Bu sınıflandırma biçimi; uluslararası düzeyde herhangi bir standarda bağlı olmaksızın mermer işleyicileri ve satıcıları tarafından; mermer kayaçlarının sertlik, renk, albeni ve desen gibi faktörlerini göz önüne alarak yaptığı sınıflandırmadır. Bu tip sınıflandırmanın en belirleyici ölçütü mermerin cila kabul etme kabiliyeti ve fiziksel yapısıdır. Bu sınıflandırmada mermerler;

- Normal mermerler: Kalker, dolomit, konglomera gibi
- Sert mermerler: Granit, serpantin, diyabaz, anortozit gibi
- Traverten ve oniks mermerler

şeklinde sınıflandırılabilir (Okubay, 2016).

Mermerleri Türk Standartlarına göre sınıflandırmak da mümkündür. Bu sınıflandırmada mermer; çürük damar, delik, boşluk, çatlak ve kırık durumuna bağlı olarak 1. sınıf ve 2. sınıf şeklinde ikiye ayrılır (Şen, 2006).

2.2.5. Mermerin kullanım alanları

Genel olarak inşaat sektöründe kullanılan mermer; estetik ve dayanıklılık özelliklerinden dolayı dekorasyon ürünü olarak hem dış kaplama hem de iç kaplama malzemesi şeklinde kullanılabilir özelliği ile karşımıza çıkmaktadır. Kullanım alanı çok geniş olan mermer; merdiven basamağında, mutfak tezgahında, yer döşemesinde, heykeltiricilikte, masa, sehpa, hediyelik eşya yapımında, mezar yapımında, süsleme işlerinde, mobilya sektöründe ve lavabo üretiminde çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Özmen, 2003).

Tüm bu kullanımlarının yanında mermer; kimyasal bileşimi kalsiyum karbonat olduğundan kimya, gübre ve hayvan yemi alanlarında, karayolu, beton, asfalt, suni mermer ve mozaik yapımında da kullanılmaktadır. Ayrıca mermerin son zamanlarda hijyenin önem kazanması ile birlikte hastane, ticaret ve üretim işletmeleri ile havaalanlarında da kullanımı hız kazanmıştır (Sarıtaş, 2006).

2.2.6. Mermerin Dünya' da ve Türkiye' deki durumu

Dünya' da mermerin durumu

İnsanoğlunun varlığı kadar eski olan mermer, hayatımızın hemen her alanında kullanılmaktadır. İnsanlar geçmişten günümüze kadar yüzyıllar boyunca farklı amaçlarla çok yaygın bir şekilde bu taşları kullanmışlardır. Dünya' da mermer endüstrisi birkaç ülke ile sınırlanmış durumda değildir. Hemen her ülkede düşük miktarda da olsa mermerin üretimi yapılmaktadır. Mermer rezervi olmayan ülkeler ise mermeri ham olarak ithal etmekte ve bunları kendi kurdukları tesislerde işlemektedirler.

Son yıllarda özellikle ileri teknolojiler ile geliştirilen işleme teknikleri sayesinde bu kayalar ekonomik ve daha kolay bir şekilde istenen boyutlara getirilebilmektedir. Estetik görünümü sayesinde özellikle dekoratörler ve mimarlar tarafından çok tercih edilen bu kayaların tüketimi dolayısıyla üretimleri de artmaktadır (Sarıtaş, 2006; Özmen, 2003).

Dünya genelinde doğal taş üretiminin dağılışına bakıldığında özellikle mermer gibi karbonat içerikli kayaların (kireçtaşı, oniks, traverten), ülkemizin de içinde yer aldığı Alp-Himalaya kuşağı ülkelerindeki (İtalya, Yunanistan, İspanya, İran, Türkiye, Pakistan vb.) rezervinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Dünyadaki mermer rezervleri hakkında yapılan bilimsel çalışmalar, mermer rezervinin dünyadaki dağılımı ve miktarı hakkında doğru verilere ulaşılmamasının oldukça zor olduğunu ortaya koymuştur (Okubay, 2016).

Son zamanlarda büyük firmaların, teknolojinin de gelişmesine bağlı olarak modern cihazlar ile birlikte ocak üretiminde yer almaları sektörün hacmini büyütüştür. Bu durum ülkemizi de önemli şekilde etkilemiş ve Türkiye'nin küresel düzeyde üretim yapan ilk on ülke içerisinde yer almasını sağlamıştır. Bu sektördeki rekabet yarışı genel olarak son zamanlarda yükseliş gösteren Türkiye, Çin, Hindistan ile sektördeki lider ülkeler olan İspanya ve İtalya arasında yaşanmaktadır (Okubay, 2016).

Çizelge 2.3.Dünyanın en büyük mermer üretici ülkeleri

Ülkeler	Üretim Miktarı (Ton)
Çin	11 000 000
İtalya	8 700 000
İspanya	4 500 000
Hindistan	4 500 000
Brezilya	2 000 000
Kore	2 000 000
Türkiye	2 000 000

Türkiye’ de mermerin durumu

Türkiye dünyadaki en zengin mermer yataklarının olduğu Alp kuşağında yer almaktadır. Türkiye’deki mermer rezervleri Anadolu’dan Trakya’ya ülkenin tamamına yayılmış durumdadır. 5,1 milyar m³ - 13,9 milyar ton muhtemel mermer rezervine sahip olan Türkiye’nin, 15 milyar m³ olduğu tahmin edilen toplam dünya rezervinin %33’üne sahip olduğu düşünülmektedir. Türkiye’deki mermer sektörü; sektör deneyimi, deniz ulaşımında nakliye kolaylığı, çeşit ve rezerv zenginliği, ham madde bolluğu, kullanılan yeni teknolojiler, dinamik sektör yapısı ve geniş renk skalası ile dünya mermer sektöründe büyük bir yere sahiptir (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2018).

Türkiye’deki mermer rezervinin miktarı hakkında kesin bilgiler olmamasına rağmen, jeolojik etüt raporları ile farklı kaynakların incelenmesi sonucunda, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) Çizelge 2.4’ de verildiği gibi bir hesaplama yapmıştır (Okubay, 2016).

Çizelge 2.4. Türkiye’deki mermer rezervlerinin miktarı (Okubay, 2016)

	m ³	Ton
Bilinen Rezervler	589 000 000	1 590 000 000
Muhtemel Rezervler	1 545 000 000	4 171 000 000
Mümkün Rezervler	3 027 000 000	8 172 000 000
Toplam Potansiyel	5 161 000 000	13 934 000 000

Türkiye’de 120’nin üzerinde değişik renk ve desende, 80’den fazla değişik yapıda mermer rezervi tespit edilmiştir. Uluslararası piyasada en tanınmış mermer çeşitlerimiz ise; Süpren, Elazığ Vişne, Manyas Beyaz, Denizli Traverten, Akşehir Siyah, Kaplan Postu, Bilecik Bej, Milas Leylak, Gemlik Diyahabaz, Denizli Traverten, Ege Bordo ve

Afyon Şeker'dir. Türk mermeri çeşitliliği, kalitesi, farklı renk skalasıyla dünyada birçok ülkenin tanınmış pek çok mekânlarında kullanılmaktadır (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2018).

Türkiye' deki doğal taş rezervi bakımından Tokat ili Balıkesir, Afyon, Bilecik ve Eskişehir'den sonra 5.sırada gelmektedir. MTA Genel Müdürlüğü ve Tokat Valiliği tarafından 1985 yılında Tokat ilinde yapılan mineralojik, petrografik, tam teknolojik, ön teknolojik analiz ve arazi çalışmalarının sonucunda; üstün kaliteli, iç ve dış piyasada oldukça beğeni kazanan, talep edilen önemli doğal taş rezervleri bulunmuştur. Ülkemizde yaklaşık 5 milyar m³ olan doğal taş rezervinin 673 milyon m³' ünün Tokat ilinde olduğu düşünülmektedir. Etüt çalışmalarının sonucunda mermer, diyabaz, oniks ve traverten potansiyellerinin il sınırlarında oldukça fazla olduğu anlaşılmıştır. Çalışmalar sonucunda; traverten (sütlü kahve, sarı), siyah mermer, füme (kumru tüğ), yeşil oniks mermer, beyaz mermer, bej mermer, diyabaz (siyah), bazalt ve serpantin tipi olmak üzere dokuz farklı renk ve özellikte doğal taş çeşidi tespit edilmiştir. Mermer bölgelerinin çoğunda en fazla beş çeşit mermer bulunurken Tokat ilinde dokuz çeşit mermerin bulunması ildeki mermer sektörü için büyük bir avantaj oluşturmaktadır (Ertaş ve ark., 2011; Kaya, 2009).

2.3. Karayolu Altyapı ve Üstyapı Özellikleri

Karayolu; kara trafiği için, kamu yararına açık olan köprüler, arazi şeritleri ve diğer alanlardır. Geometrik standartlara uygunluğu belirlenen güzergahın istenilen yükseltilere (kotlara) getirilmesi, bu güzergah üzerinde motorlu taşıtların güvenlik, konfor ve istenilen hız koşullarında hareket etmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümüne karayolu denir. Karayolu altyapı ve üstyapı olmak üzere iki bölümden oluşur (İlçali ve ark, 2001).

2.3.1. Karayolu altyapısı

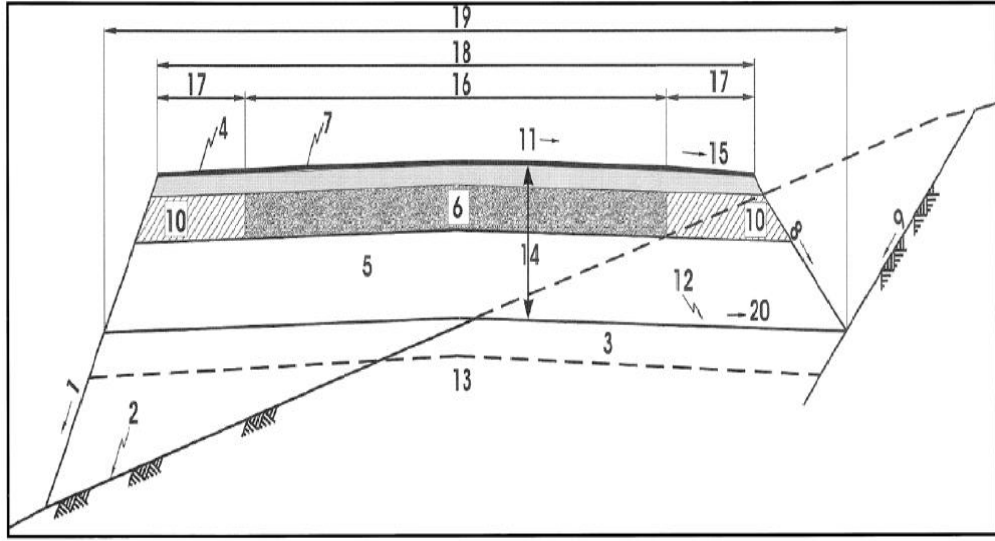
Yapımı tamamlanan bir karayolunda, tesviye yüzeyi ile doğal zemin çizgisi arasında kalan bölüm altyapı olarak adlandırılır. Altyapı, yolun dolgu kesimlerinde, başka yerden getirilmiş toprakla oluşturulan toprak gövde; yarma kesimlerinde ise tabii (doğal) zemindir. Ancak yarma kısımlarında tesviye yüzeyini oluşturmak için yapılan dolgu çalışmaları da altyapıyı oluşturan bölümlerdendir. Ayrıca tünel, menfez, istinat duvarı,

köprü ve viyadük gibi sanat yapıları da altyapı içerisinde kabul edilmektedir (İlıcılı ve ark, 2001).

Altyapının görevi; yol yapımına uygun bir yüzey sağlamak, üstyapının ilettiği yükleri geniş bir alana yaymak ve yolu bir miktar dış etkilere karşı korumaktır. Bu işlevini yerine getirebilmesi için don etkilerine, suya ve trafik yüklerine karşı dirençli olması gerekmektedir. Altyapı oluşturulurken çürük zemin, bitkisel toprak ve sıkıştırmaya elverişsiz zeminlerden kaçınılmalıdır. Bu sebeple altyapıyı meydana getiren zeminlerin özelliklerinin iyi incelenmesi gerekir (İlıcılı ve ark., 2001; Umar ve Ağar, 1991).

2.3.2. Karayolu üstyapısı

Üstyapı; trafiğin etkisiyle oluşan yükleri altyapının taşıma kapasitesine indirmek, altyapıyı korumak ve taşıtlar için düzgün yuvarlanma yüzeyi sağlamak amacıyla altyapının üzerine yerleştirilen bölümdür. Üstyapı genel olarak kaplama, temel ve alttemel katmanlarından oluşmaktadır. Yol üstyapısının katmanları Şekil 2.1' de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.1. Yol üstyapısı tip enkesiti (Sağlık ve Güngör, 2008)

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

Üstyapılar, kaplamada kullanılan malzemenin özelliklerine, yapım yöntemlerine ve çeşitlerine göre rijit (beton yol), yarı rijit ve esnek üstyapı (asfalt yol) olmak üzere üç gruba ayrılır. Bu türler içinden trafiğe, taban zeminine, çevre koşullarına ve ekonomik şartlara bağlı olarak en uygun üstyapı seçilerek projelendirme yapılır.

Rijit üstyapılar (beton yollar)

Çimento betonu kullanılarak yapılan kaplamalara rijit üstyapı veya beton yol denir. Rijit üstyapılar taban zeminini üzerine yapılan, donatılı veya donatısız anolar şeklinde serilen

beton plakalardan oluşur. Burada betonun görevi, trafik yüklerini tabana iletmek ve bu esnada tabanın deforme olmasına izin vermemektir. Rijit kaplamaların performans özellikleri sadece kaplamayı oluşturan beton plakalara bağlı değildir. Aynı zamanda kaplama tabakasının altındaki temel ve alttemel tabakaları ile zemindeki toprağın özelliklerine de bağlıdır. Bu sebeple beton kaplamanın özelliklerini etkileyen zemin toprağı, temel ve alttemel malzemesi, betonu oluşturan çakıl, kum, çimento ile kullanılan donatıların fiziksel özelliklerinin oldukça iyi bilinmesi gerekir (Umar ve Ağar, 1991). Rijit kaplamaların ano boyutları, donatı miktarları ve plaka kalınlıkları proje süresi boyunca yoldan geçecek trafiğın miktarına ve tabandaki zeminin mukavemetine bağlıdır.

Rijit üstyapıların alt ve üst yüzeyleri, sıcaklık ve nem farkına bağlı olarak trafik yüklerinin de etkisiyle çatlayabilmektedir. Bu çatlamaları önlemek amacıyla kaplama üzerine belirli aralıklarla derzler yapılarak kaplamanın serbest şekilde hareket eden plakalar haline getirilmesi sağlanır. Beton kaplamaların rijitliklerinin yüksek olmasından dolayı taban zemininde oluşan gerilmeler daha geniş bir alana yayılmaktadır. Beton yolların ilk yapım maliyeleri yüksek olmasına rağmen 20 yıllık veya daha uzun bir süre içerisindeki bakım masrafları dikkate alındığında esnek üstyapılardan daha ekonomik olduğu görülmektedir (Umar ve Ağar, 1991; Arslan, 2014).

Yarı rijit üstyapılar (beton yollar)

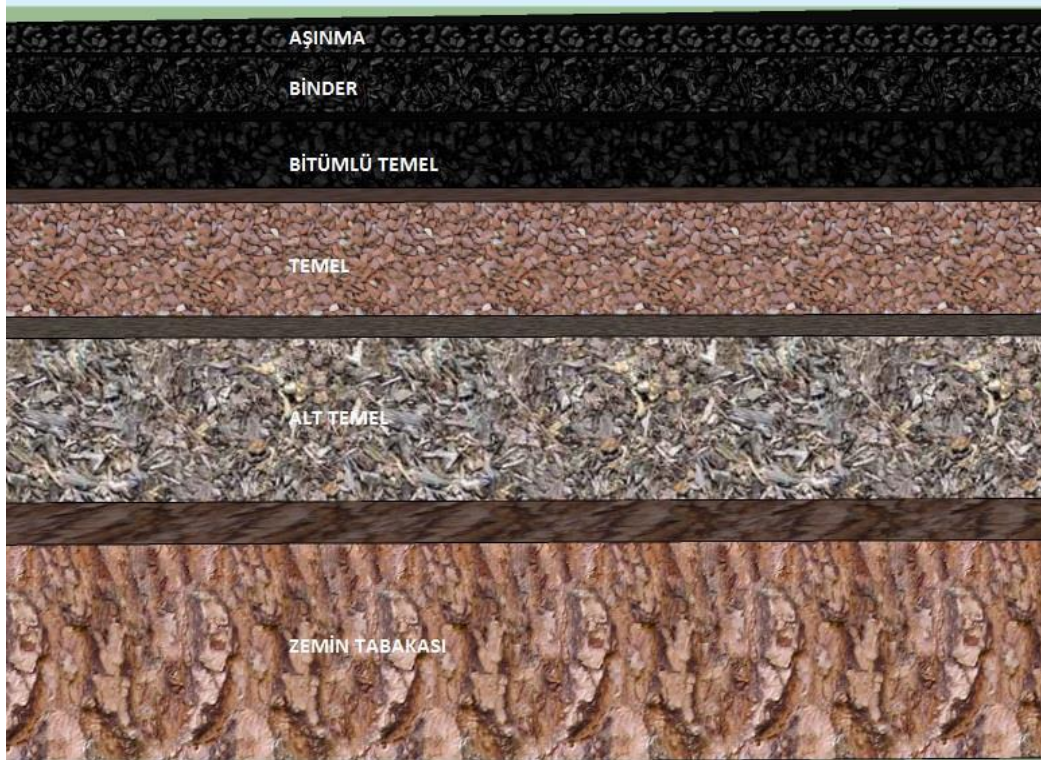
Yarı rijit üstyapıların esnek üstyapılardan farkı; alttemel veya granüler temelin yerine çimento ile stabilize edilmiş alttemel veya çimento bağlayıcılı granüler temelin kullanılmasıdır. Bu tabakaların üzerine sırasıyla bitümlü temel, binder ve aşınma tabakaları serilmektedir. Türkiye’ de trafik yükünün fazla olduğu otoyollarda ve devlet yollarında bu tür üstyapılar kullanılmaktadır (Önal ve Kahramangil, 1993).

Esnek üstyapılar (BSK kaplamalar)

Esnek üstyapı, taban zemini üzerine serilen alttemel, temel ve bitümlü kaplama tabakalarından oluşan bir yol üstyapısı çeşididir. Esnek üstyapılar, kaplama tabakası üzerinde oluşan trafik yüklerini çeşitli katmanlardan geçirerek taban zeminine

dağıtmaktadır. Esnek üstyapılar ülkemizde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tip üstyapılar tesviye yüzeyi ile sıkı temas halindedir. Kohezyona karşı dayanıklılık, agrega kilitlenmesi ve partikül sürtünmesi değerlerinin yüksek olmasından dolayı esnek üstyapılarda yüksek dayanım beklentisi vardır (Fındık, 2005; Kara, 2012).

Esnek üstyapılarda üst tabakadan taban zeminine doğru inildiğinde tabakalarda kullanılan malzemelerin kalitesinde düşüşler görülür. Doğrudan trafik ve iklim şartlarının bozucu etkisine maruz kalan kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin fiziksel özelliklerinin oldukça iyi olması istenmektedir. Esnek üstyapıyı oluşturan tabakaların kalınlıkları belirlenirken taban zeminin taşıma gücü, hizmet ömrü, trafik hacmi ve trafik yükü gibi parametre değerleri dikkate alınmalıdır (Umar ve Açar, 1991). Esnek üstyapı tabakaları Şekil 2.2' de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Esnek üstyapı kesiti ve tabaka kalınlıkları (Kara, 2012)

Alttemel tabakası

Esnek üstyapıların en alt tabakası olan alttemel, taban zemini ile temel tabakası arasında yer almaktadır. Bu tabaka sıkıştırılmış daneli malzeme veya uygun bir bağlayıcı ile stabilize edilmiş malzeme tabakasıdır. Alttemel tabakası genellikle taşıma gücü yetersiz

taban zeminleri ile don bölgesinde olan ve dona hassas taban zeminlerinin üzerine yapılmaktadır. Bu durumların olmadığı yerlerde alttemel tabakasının yapılması zorunlu değildir.

Alttemel tabakasının; temel tabakasına zarar verecek ince daneli alt yapıların ulaşmasını önlemek, üstyapıyı don olaylarına karşı korumak, üstyapının içinde veya altında biriken suyun serbest şekilde hareket etmesini sağlamak gibi üç temel faydası vardır. Kullanılan malzeme cinsine göre minimum alttemel kalınlıkları Çizelge 2.5’ deki gibidir.

Çizelge 2.5. Malzeme cinsine göre minimum alttemel kalınlıkları (Umar ve Ağar,1991)

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

Alttemel tabakasında kullanılacak malzemelerin standartlarda verilen granülometride olması gerekmektedir. Bu malzemeler, ekonomik faktörler göz önüne alınarak o bölgede bulunan kaliteli seçme malzemelerden veya atık malzemelerden oluşturulmalıdır (Umar ve Ağar,1991). Çakıl, kum, teras çakılı, kırmataş, cüruf, bozuşmuş kaya, kazınmış asfalt gibi malzemeler alttemel tabakasının inşasında kullanılabilir (KTŞ 2013).

Alttemel gradasyon limitleri, kullanılacak malzemeye göre Tip-A ve Tip-B olarak iki gruba ayrılmıştır. Alttemel tabakası için KTŞ 2013’ de belirlenen gradasyon limitleri Çizelge 2.6’ daki gibidir. Ek olarak çizelgede verilen gradasyon limitlerinin dışında, malzemenin 0,075 mm eleğinden geçen kısmı 0,425 mm eleğinden geçen kısmının 2/3’ünden fazla olmayacaktır. Alttemel malzemesi, kum-çakıl veya taş ocaklarından kırılarak hazırlanırsa malzemenin gradasyonu Tip-B gradasyon limitlerine uygun olarak hazırlanmalıdır (KTŞ 2013).

Çizelge 2.6. Alttemel malzemesi gradasyon limitleri (KTŞ 2013)

Elek Açıklığı		Tip - A	Tip - B
mm	in	% 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 tabakasında kullanılacak malzemeler için birçok deney yapılmalıdır. KTŞ 2013' e göre alttemel malzemesi için yapılması gereken deneyler, deney standartları ve şartname limitleri Çizelge 2.7' de gösterildiği gibidir.

Çizelge 2.7. Alttemel malzemesi fiziksel özellikleri

Deney Adı		Şartname Limitleri	Deney Standardı
%Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, MgSO ₄ ile kayıp, %		≤ 25 (MS ₂₅)	TS EN 1367 - 2
Parçalanma Direnci (Los Angeles), %		≤ 45 (LA ₄₅)	TS EN 1097 - 2* AASHTO T 96
Yassılık İndeksi, %		35	BS 812
		≤ 30 (F130)	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 Topağı ve Dağılabilen Dane Oranı, maksimum %		<u>İri Malzeme</u> (4,75 mm elek üstü) ≤ 2	ASTM C 142
Organik Madde, (%3 NaOH ile)		Negatif	TS EN 1744-1
Metilen Mavisi (MB, g/kg)	İnce agreganın 0/2 mm'lik kısmına	≤ 4,0 (MB _{4,0}) ≤ 5,5 (MB _{5,5})**	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm'lik kısmına	≤ 5,5 (MB _{5,5})**	
*Referans Metot ** Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanamaması durumunda bu şart aranacaktır.			

Temel tabakası

Kaplama tabakasının hemen altındaki daneli veya uygun bir bağlayıcı ile işlem görmüş malzemeden oluşan kısım temel tabakası olarak adlandırılır. Esnek kaplamalarda temel tabakasının kullanılma amacı; deformasyonları azaltmak, yük taşıma kapasitesini, kaplama tabakasının yorulma direncini, yük dağıtma kabiliyetini, rijitliğini artırmak, drenajı sağlamak, don etkisine karşı korumak vs. sayılabilir (Tunç, 2004).

Temel tabakası üç farklı şekilde üretilmektedir. Bu tabakalar; granüler temel (GT), plent-miks temel (PMT) ve çimento bağlayıcılı granüler temel (ÇBGT) şeklindedir. Temel tabakasında; kırmataş, kırılmış çakıl, kum, çakıl veya cüruf gibi malzemeler agrega olarak kullanılabilir. Bu tabakada kullanılacak olan kaba agregaların fiziksel özellikleri ile ilgili şartname limitleri ve deney standartları Çizelge 2.8' de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Kaba agreganın fiziksel özellikleri

Deney Adı	Şartname Limitleri	Deney Standardı
% Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, MgSO ₄ ile kayıp, %	≤ 20 (MS ₂₀)	TS EN 1367-2
Parçalanma Direnci (Los Angeles), %	≤ 35 (LA ₃₅)	TS EN 1097-2* AASHTO T-96
Kil Topağı ve Dağılabilen Tane Oranı, %	≤ 1,0	ASTM C-142
Yassılık İndeksi, %	≤ 30	BS 812
	≤ 25 (F125)	TS EN 933 – 3*
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1
Su Emme (Kaba ve İnce Agregada), %	≤ 3,0 (WA ₂₄₃)	TS EN 1097-6
*Referans Metot		

Temel tabakasında kullanılacak olan ince agregalar doğal veya kırma kum, doğal kum, kırılmış çakıl, cüruf kumu veya benzeri malzemeler ya da bu malzemelerin karışımından oluşur. KTŞ 2013’ de verilen ince agrega fiziksel özellikleri Çizelge 2.9’ da gösterilmiştir (KTŞ, 2013).

Çizelge 2.9. İnce agreganın fiziksel özellikleri (KTŞ, 2013)

Deney Adı	Şartname Limitleri	Deney Standardı
Likit Limit, %	NP	TS 1900-1 AASHTO T 89
Plastisite İndeksi, %	NP	TS 1900-1 AASHTO T 90
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1
Metilen Mavisi, MB, (g/kg)	İnce agreganın 0/2 mm’ lik kısmına	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmına	
		≤ 4,5 (MB _{4,5})*

Granüler temel (GT) tabakası

Bu tabakaya mekanik stabilizasyon temel tabakası da denilmektedir. Bu tabaka; kırmataş, çakıl, kırılmış cüruf veya kırılmış çakıl ile ince malzemelerin şartnamede verilen gradasyon limitlerine uygun şekilde hazırlanıp su ile karıştırılması ve yeterli

taşıma gücüne sahip taban zemini veya alttemel tabakası üzerine serilip sıkıştırılması ile oluşturulur. Bu tabaka trafik yükleri altında kalıcı deformasyon yapmadığından dolayı mekanik açıdan stabil olarak adlandırılmaktadır. Granüler temel, diğer temel çeşitlerine göre daha ekonomik olmasına rağmen stabilitesi daha azdır (KTŞ, 2013; TUNÇ, 2007). KTŞ 2013’ de verilen granüler temel tabakası gradasyon limitleri Çizelge 2.10’ da verilmiştir.

Çizelge 2.10. Granüler temel tabakası gradasyon limitleri (KTŞ, 2013)

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

Granüler temel tabakası malzemesi ayrıca şu iki şartı sağlamalıdır. Bunlardan birincisi; 4.75 mm elek üzerinde kalan kısmın ağırlıkça en az %50’sinin iki veya daha fazla yüzünün kırılmış olmasıdır. İkincisi ise malzemenin 0.075 mm eleği geçen kısmı, 0.425 mm eleği geçen kısmının 2/3’ünden fazla olmaması şartıdır (KTŞ, 2013).

Plent-miks temel (PMT) tabakası

Belirli fiziksel özelliklere sahip iyi derecelendirilmiş agrega gradasyonunun optimum su oranı ile plentte karıştırılarak yola serilmesi ve sıkıştırılması ile oluşturulan temel tabakası tipine plent-miks temel denir. Agrega olarak kırmataş, kırılmış çakıl, kırılmış cüruf ve ince malzeme kullanılmalıdır. KTŞ 2013’ de bu tabaka için verilen gradasyon limitleri Çizelge 2.11’ de gösterilmiştir.

Çizelge 2.11. Plent-miks temel tabakası gradasyon limitleri (KTŞ, 2013)

Elek Açıklığı		% Geçen	
mm	in	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

Burada Tip-1 ve Tip-2 grupları plent-miks tabakasının kalınlığına göre seçilir. Tabakanın kalınlığı 15 cm ve üzerinde olması durumunda PMT Tip-1, tabaka kalınlığının 15 cm altında olması halinde ise PMT Tip-1 veya Tip-2 seçilmelidir (KTŞ, 2013).

PMT karışım dizaynı yapılırken her dane grubunun malzemesini temsil edecek miktarda agrega numunesi alınır ve en az 10 adet elek analizi yapılarak bunların ortalama değeri esas alınır. Agrega gradasyonu şartname limitleri ve Çizelge 2.12' de verilen tolerans limitleri arasında kalmalıdır.

Çizelge 2.12. Dane büyüklüğüne bağlı olarak tolerans limitleri (KTŞ, 2013)

Dane Büyüklüğü	Tolerans Limitleri
4,75 mm ve daha büyük elekler için	± 7
4,75 mm - 0,075 mm arası elekler için	± 5
0,075 mm elek için	± 2

Çimento bağlayıcılı graniüler temel (ÇBGT) tabakası

Fiziksel özellikleri belli, iyi derecelenmiş gradasyona sahip agrega malzemesine, uygun oranlarda çimento ve su eklenerek plentte harmanlanması ile oluşturulan karışımın alttemel tabakası üzerine serilmesi ve yeterli miktarda sıkıştırılması ile oluşturulan bir tabakadır. Karışımında agrega olarak kırmataş, çakıl, kırılmış cüruf, kırılmış çakıl ve ince malzeme kullanılmaktadır. Karışım için şartnamede verilen gradasyon limitleri Çizelge

2.13' de gösterildiği gibidir. Bu tabakanın plent-miks temelden tek farkı ise karışıma çimento eklenmesidir. Bu karışımdaki çimento miktarı geleneksel betona göre oldukça düşük miktardadır. Karışımın çimento miktarı proktor deneyi ile hesaplanmaktadır (Kara, 2012; KTŞ, 2013).

Çizelge 2.13. ÇBGT tabakası gradasyon limitleri (KTŞ, 2013)

Elek Açıklığı		% Geçen
mm	in	
37,5	1 1/2	100
25	1	72-100
19	3/4	60-92
9,5	3/8	40-75
4,75	No. 4	30-60
2,00	No. 10	20-45
0,425	No. 40	8-25
0,075	No. 200	0-10

Bitümlü temel tabakası

Bu tabaka kırılmış ve elenmiş kaba agrega, ince agrega ve mineral fillerin işyeri karışım formülüne uygun olarak bitümlü bağlayıcı ile plentte karıştırılması şeklinde oluşturulur. Bu tabakanın dizaynında agrega ve bitümlü malzemede aranan özellikler, gradasyon limitleri vs. şartnamede verilen esaslara uygun olarak hazırlanmalıdır. Agrega olarak kırılmış çakıl, kırmataş veya bunların karışımı kullanılmalıdır. Kullanılan agregalar sert, sağlam, temiz ve dayanıklı olmalıdır. Agregalar içinde bitkisel maddeler, kil toprakları ve diğer zararlı maddeler bulunmamalıdır. Bitümlü temel tabakasının yapımında agrega ile karıştırılacak bitüm; TS EN 12591 standardına uygun 40/60, 50/70 veya 70/100 penetrasyon değerine sahip olmalıdır. Ayrıca iklim koşullarına göre her bölge için farklı bitüm sınıfları kullanılmalıdır. Bitümlü temel tabakasında kullanılan kaba ve ince agregalara ait fiziksel özellikler Çizelge 2.14 ve Çizelge 2.15' de verilmiştir. Bitümlü temel tabakası gradasyon limitleri ve dizayn kriterleri sırasıyla Çizelge 2.16 ve Çizelge 2.17' de verilmiştir (KTŞ, 2013).

Çizelge 2.14. Bitümlü temel tabakası için kaba agrega özellikleri

Deney Adı	Şartname Limitleri	Deney Standardı
Parçalanma Direnci (Los Angeles), %	≤ 30 (LA30)	TS EN 1097-2* AASHTO T-96
Aşınma Direnci (Micro-Deval) ^b , %Kayıp	≤ 25 (M _{DE} 25)	TS EN 1097-1
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, (MgSO ₄ ile kayıp), %	≤ 18 (MS18)	TS EN 1367-2
Kırılmışlık, ağırlıkça % (Tüm yüzeyi kırılmış – tüm yüzeyi yuvarlak)	≥ 95 - ≤ 0 (C _{95/0})	TS EN 933-5
Yassılık İndeksi, %	≤ 30	BS 812
	≤ 25 (FI ₂₅)	TS EN 933-3*
Su Emme, %	≤ 2,5 (WA ₂₄ 2,5)	TS EN 1097-6 (Madde 8)
Soyulma Mukavemeti, % bitümlü kaplı yüzey (24 saat 60 C suda bekletmeden sonra)	≥ 60	TS EN 12697-11 (Kısım 403 EK-A)
Kil Topakları ve Ufalanabilir Tane Oranı, %	≤ 0,3	ASTM C 142 AASHTO T 112
*Referans Metot ^b Gerek görüldüğünde yapılacaktır. ^c Parantez içindeki ifade, şartname değerinin TS EN 13043' deki sınıfını gösterir.		

Çizelge 2.15. Bitümlü temel tabakası için ince agrega özellikleri

Deney Adı	Şartname Limitleri	Deney Standardı	
Plastisite İndeksi, %	NP	TS 1900-1 AASHTO T 90	
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1 Madde 15.1	
Su Emme, %	≤ 2,5 (WA ₂₄ 2,5)	TS EN 1097-6	
Metilen Mavisini, (g/kg)	İnce agreganın 0/2 mm' lik kısmına	≤ 2,0 (MB2,0) ≤ 3,5 (MB3,5)*	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmına	≤ 3,5 (MB3,5)*	
*Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanamaması durumunda bu şart aranacaktır.			

Çizelge 2.16. Bitümlü temel tabakası için gradasyon limitleri (KTŞ, 2013)

Elek Açıklığı		% Geçen	
mm	in	Tip - A	Tip - B
37,5	1 1/2	100	100
25	1	72-100	80-100
19	3/4	60-90	70-90
12,5	1/2	50-78	61-81
9,5	3/8	43-70	55-75
4,75	No. 4	30-55	42-62
2,00	No. 10	18-42	30-47
0,425	No. 40	6-21	15-26
0,180	No. 80	2-13	7-17
0,075	No. 200	0-7	1-8

Çizelge 2.17. Bitümlü temel dizayn kriterleri (KTŞ 2013)

Özellikler	Min.	Maks.	Deney Standardı
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	75		TS EN 12697-30
Marshall Stabilitesi, kg	600		TS EN 12697-34
Boşluk, %	4	6	TS EN 12697-8
Asfaltla Dolu Boşluk (VFA),%	55	75	TS EN 12697-8
Agregalar Arası Boşluk (VMA),%	12	14,5	TS EN 12697-8
Akma, mm	2	5	TS EN 12697-34
Bitüm (Ağırlıkça, 100'e)	3,0	5,5	TS EN 12697-1
Sıkıştırılmış Bit. Kar. Sudan Kay. Boz. Karşı Direnci, İndirekt Çekme Muk. (İÇM) Oranı, min. %	80	-	AASHTO T 283

Kaplama tabakası

Kaplama tabakası esnek üstyapıyı oluşturan en üst tabakadır. Bu tabaka direkt olarak trafik yüklerine maruz kaldığı için çekme ve basınç gerilmelerinin en yüksek seviyede olduğu tabakadır. Bu sebeple diğer tabakalardan daha yüksek elastisite modülüne sahip olması istenir (Umar ve Açar, 1991).

Kaplama tabakası suya karşı geçirimsizlik sağlayan ve yolu bozulmalardan koruyan tabakadır. Bu tabaka yolu kışın çamurdan, yazın toz gibi konforu bozan etkilerden korumakta ve yolun yüzeyini düzelterek konforun artmasını sağlamaktadır. Kaplama

tabakasının kalınlığı arttırıldığında yolun direnci artarken temel tabakasına iletilen basınç ve kayma gerilmeleri azalır (Umar ve Ağar, 1991).

Esnek üstyapıların kaplama tabakası sathi (yüzeysel) kaplamalar ve beton asfalt kaplamalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Sathi (yüzeysel) kaplamalar

Sathi kaplamaların yapımı bağlayıcı ve agreganın birbiri ardına serilmesiyle oluşturulan kaplama şeklidir. Yol yüzeyine öncelikle ince film şeklinde asfalt veya katran veya bunların karışımı püskürtülür. Daha sonra bunların üzerine belli gradasyondaki agrega karışımı dökülerek silindir ile sıkıştırılır. Bu kaplamaların yapımları kolay ve ekonomik olup her çeşit yolda kullanılabilir. Fakat kaplamaların uzun ömürlü olması için kontrollerinin iyi yapılması gerekir (Umar ve Ağar, 1991).

Serim işleminden bir süre sonra yapışmayan agregalar taşıt tekerleğinin etkisi ile fırlatılmakta ve trafik güvenliğinin tehlikeye düşmesine sebep olmaktadır. Yüzeysel kaplamaların yapımı iklim koşullarına bağlıdır. Özellikle kışın tuzlamanın yapıldığı ve hava sıcaklığının yüksek olduğu yerlerde iyi dayanım göstermediklerinden dolayı tavsiye edilmemektedir (Ektaş, 2011; Kara, 2012).

Beton asfalt (asfalt betonu) kaplamalar

Asfalt betonu, genel olarak binder tabakasını, aşınma tabakasını veya bunların her ikisini kapsamaktadır. En gelişmiş kaplama tipi olan beton asfalt kaplamalar; otoyollarda, ağır trafik yüküne sahip yollarda, havaalanı pistlerinde, her türlü iklim koşulları altında vs. olmak üzere çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Binder ve aşınma tabakaları belli bir gradasyona sahip olan kırılmış ve elenmiş kaba agrega, ince agrega ve mineral filler malzemelerinin bitümlü bağlayıcı ile bir plentte karıştırılması ile oluşturulur. Bu tabakalarda kullanılan agregalar kırılmış çakıl, kırmataş veya bunların karışımından oluşmalıdır. Agrega daneleri sert, dayanıklı, temiz ve sağlam olmalıdır. Kaplama tabakası, üzerine gelen yükleri kalıcı bir deformasyona uğramadan temel tabakasına iletecek kadar kararlı olmalıdır. Binder ve aşınma tabakaları için

şartname gradasyon limitleri ve dizayn kriterleri sırasıyla Çizelge 2.18, Çizelge 2.19 ve Çizelge 2.20’ de verildiği gibidir (Umar ve Ağar,1991; KTŞ, 2013).

Çizelge 2.18. Binder tabakası gradasyon limitleri (KTŞ, 2013)

Elek Açıklığı		% Geçen
mm	in	
25	1	100
19	3/4	80-100
12,5	1/2	58-80
9,5	3/8	48-70
4,75	No. 4	30-52
2,00	No. 10	20-40
0,425	No. 40	8-22
0,180	No. 80	5-14
0,075	No. 200	2-7

Çizelge 2.19. Aşınma tabakası gradasyon limitleri (KTŞ 2013)

Elek Açıklığı		% Geçen		
mm	in	Tip-1	Tip-2	Tip-3 Çok İnce Aşınma
19	3/4	100		
12,5	1/2	88-100	100	100
9,5	3/8	72-90	80-100	90-100
6,0	1/4	-	-	25-33
4,75	No.4	42-52	55-72	23-31
2,00	No.10	25-35	36-53	20-27
0,425	No.40	10-20	16-28	12-18
0,180	No.80	7-14	8-16	-
0,075	No.200	3-8	4-8	7-11

Çizelge 2.20. Aşınma ve binder tabakaları dizayn kriterleri (KTŞ, 2013)

Özellikler	Binder		Aşınma Tip-1, Tip-2		Aşınma Tip-3	
	min	maks	min	maks	min	maks
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	75		75		75	
Marshall Stabilitesi, kg	750	-	900	-	400	-
Boşluk, %	4	6	3	5	5	12
Asfaltla Dolu Boşluk, %	60	75	65	75	-	-
Agregalar Arası Boşluk, (VMA) %	13	15	14	16	-	-
Akma, mm	2	4	2	4	2	4
Filler/Bitüm Oranı	-	1,4	-	1,5		
Bitüm (ağırlıkça, 100'e)	3,5	6,5	4,0	7,0	5,0	8,0
Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımların Sudan Kaynaklanan Bozulmalara Karşı Direnci, İndirekt Çekme Mukavemeti (İÇM) Oranı, min. %	80		80		80	
Tekerlek İzinde Oturma (30.000 devirde, 60 °C'de), maks. %	-		8		-	
Tekerlek İzinde Oturma (3.000 devirde, 60 °C'de 5 cm kalınlığında numune), maks. %					7	

Binder ve aşınma tabakalarının üretiminde karışım dizaynının yalnızca şartname limitleri içinde değil tolerans limitlerinin içinde de kalması gerekir. Ancak tüm önlemler alınmasına rağmen üretim tolerans limitlerinin içinde kalmıyorsa laboratuvar karışım dizaynının yeniden yapılması gerekmektedir. Çizelge 2.21' de şartname tolerans limitleri gösterilmiştir (KTŞ, 2013).

Çizelge 2.21. Aşınma ve binder karışımı tolerans sınırları (KTŞ, 2013)

Malzeme	Toleranslar
4,75 mm (No.4) ve daha büyük eleklerden geçenler	± % 4
2,00 mm (No.10) - 0,180 (No.80) eleklerden geçenler	± % 3
0,075 mm (No.200) eleği geçen	± % 2
Bitümlü Bağlayıcı	± % 0,2

Asfalt betonunun karışımı işyeri karışım formülüne göre harman tipi karıştırma özeliğinde çalışan plent ile karıştırılır. Sürekli karıştırma veya tamburda karıştırma özeliği ile çalışan plent kullanılacaksa idarenin yazılı izninin olması gerekir. Bu işlem esnasında karışımın homojen olmasına, bitüme bulanmamış tek bir agregaya kalmamasına

ve karışımın segregasyona uğramamış olmasına dikkat edilmelidir. Plent karıştırma işlemi yapmadan önce agrega ve bitümün sıcaklıkları kontrol edilerek Çizelge 2.22’deki gibi olması lazımdır. Agrega ve bitümün sıcaklığı arasındaki fark 15 °C’ den fazla olmamalıdır (KTŞ, 2013).

Çizelge 2.22. Aşınma ve binder tabakası malzemeleri karıştırma sıcaklıkları

Bitümlü Bağlayıcı	Bitüm		Agrega	
	min. °C	maks. °C	min. °C	maks. °C
40/60, 50/70 pen bitümlü karışımlarda	145	160	150	165
70/100 pen bitümlü karışımlarda	140	155	145	160

2.4. İnşaat Sektörü Açısından Geri Dönüşüm

Her geçen gün dünya nüfusunun hızla artması, sanayileşmeye bağlı olarak insan gücünün yerini makine gücüne bırakması, modern çağın gereksinimleri vs. kaliteli ve yüksek standartlarda yaşama ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu durum insanları kentsel yaşam tarzına yöneltmiştir. Kentlerdeki nüfusun artması ve sanayileşmeye bağlı olarak üretim faaliyetlerindeki genişleme doğal kaynakların hızla yok olmasına ve büyük bir atık problemine yol açmaktadır. Doğal kaynakların yoğun bir şekilde kullanımı sonucunda ortaya çıkan atıklar zararlı içeriklerinden dolayı insan ve çevre sağlığı üzerinde büyük tehditlere sebep olmaktadır. Kentlerdeki nüfus artışı özellikle inşaat sektörünün hızla büyümesine neden olmuş ve bu alanda oldukça büyük miktarlarda atıkların oluşmasına neden olmuştur. Atık miktarındaki artışlar depolama alanlarının azalmasına sebep olduğundan çevrenin korunması dünyadaki tüm ülkelerin temel politika öncelikleri arasında en ön sıraya yerleşmiştir. Hammaddenin en çok kullanıldığı alanların başında inşaat sektörü gelmektedir. Bu sebeple inşaat sektörünün en büyük sorunlarından birisi hammadde ihtiyacıdır. İnşaat ve yıkıntı atıkları, asfalt, endüstriyel atıklar, mermer vs. gibi atıkların geri kazanımının yapılmasıyla çok miktarda ekonomik ve çevresel kazançlar sağlanabilmektedir (Gürer, 2005).

2.4.1. Betonun geri dönüşümü

Beton inşaat endüstrisinde en çok kullanılan yapı malzemesidir. Yapılarda mimari ve peyzaj amacıyla da kullanılan beton, kolay şekil verilebilme özelliğine sahip

olduğundan yaygın şekilde kullanılmaktadır. Günümüzde yapılan araştırmalar dünyada kullanılan ürünlerin ve meydana gelen katı atıkların neredeyse % 50'sinin inşaat sektörü tarafından oluştuğunu göstermiştir. Diğer bir çalışmada ise arazinin %12'sinin, su kaynaklarının %25'inin, hammaddenin %30'unun ve enerjinin %42'sinin inşaat sektörü ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Beton, sudan sonra dünyada en çok tüketilen maddedir. Genel olarak bir ülkede oluşan katı atıkların yaklaşık % 30-50' sinin inşaat ve yıkıntı atıklarından, bunun da % 50-60'ının betondan oluştuğu tahmin edilmektedir (Maçin ve Demir, 2018).

Bir yapının yıkılması sonucu ortaya çıkan eski beton, kırılmak suretiyle beton agregası veya yolların zemininde dolgu maddesi olarak tekrardan kullanılabilir. Beton kimyasal bileşiminden dolayı az bir performans kaybına uğrayan malzemedir. Bu özellik betonu ideal bir geri dönüşümlü malzeme haline getirmektedir. Eski binaların yıkılmasıyla oluşan beton atıkları ve ömrünü tamamlamış beton yollar, agrega geri dönüşüm tesislerinde kırıldıktan sonra tekrar kullanıma hazır hale getirilmektedir. Geri dönüştürülmüş olan beton agregaları yol yapımında temel dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu gibi uygulamalar sayesinde atık beton agregaları azalacağı için hem ekonomik hem de çevresel fayda sağlanmış olur (Gürer, 2005).

2.4.2. Mermer atıklarının inşaat sektöründe değerlendirilmesi

Mermer madenciliğinde, ocaktan çıkarma ve blokların işlenmesinden kaynaklanan iki tür atık meydana gelmektedir. Bu atıklar parça ve toz şeklinde olmaktadır. Ocaklardan blok mermer çıkarılması sırasında yaklaşık %50 oranında atık ortaya çıkmaktadır. Plaka mermer kesim işleminde ise %15-50 civarında atık toz oluşmaktadır. Mermerlerin ebatlarının küçültülmesi sırasında açığa çıkan mermer parçalarının oranı ise %15-25 civarındadır. Mermer üretimi esnasında mermer blokları ve plakalardan çok miktarda katı atık, mermer tozu ve mermer çamuru oluşmaktadır. Özellikle rüzgarlı günlerde ve sıcak havalarda mermer tesislerinin etrafında büyük toz kirliliği oluşur. Bu kirlilik çevredeki ağaç ve bitki örtüsüne ciddi zararlar verir. Bu maddeler çevre ile uyumlu olarak yönetilmez veya geri kazanılmazsa çoğu atık olarak kalmakta ve büyük bir çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bu yüzden mermerin üretimi çevreyle uyumlu bir şekilde yapılmalıdır. Bu atıklar tehlikeli atık sınıfına girmediğinden geri kazanımı ve kullanımı çevre kirliliğinin azalmasına katkı sağlayacaktır. Bu atıkların değerlendirilme oranı Batı

Avrupa ve Amerika Birleşik Devletlerinde %80 civarındayken ülkemizdeki değerlendirilme oranı yalnızca %20'dir. Mermer işleme tesislerinde ortaya çıkan tozlar, çamurlar ve diğer atıklar uygun yöntemler kullanılarak işletilirse önemli bir alternatif hammadde olarak kullanılabilir (Öztürk, 2018).

Mermer atıkları asfalt karışımlarda ve betonda agrega, baraj ve yol zeminlerinde dolgu malzemesi, antik taş yapımı, karo taş yapımı gibi farklı alanlarda kullanılabilir. Özellikle de mermer ocaklarında oluşan parça mermer atıklarının agrega olarak değerlendirilmesi ile ilgili özel girişimler yapılmıştır (Gürer, 2005).

Mermer çamurları da parça mermer atıkları gibi geri kazanılabilir. Çimento sanayisinde mermer çamurları hammadde olarak değerlendirilmektedir. Ancak mermer çamurunun çimento içerisinde kullanılabilmesi için maksimum %15 nem içeriğine sahip olması gerekir. Aksi halde çamurdaki nemin artması çimento üretiminde daha fazla enerji kullanmayı gerektirir. Yine bu çamur ile kiremit de üretilebilir (Öztürk, 2018).

Özetle, mermer atıklarının tümü çeşitli inşaat alanlarında kullanılabilir. Bu atıkların köy yollarında, ağır trafik yüküne maruz kalmayan şehir içi yollarda kullanılması ile hem ekonomik kazanç elde edilmiş olunacak hem de çevresel etkilerinden kurtulmuş olunacaktır. Ayrıca yeni agrega ocaklarına duyulan ihtiyaç da azalacaktır (Gürer, 2005).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada kalker kökenli agregası, atık mermer agregası ve kentsel dönüşüm beton atığı agregasının bitümlü sıcak karışımların binder tabakasında kullanılabilirliği incelenmiştir. Deneyler kapsamında, Karayolları Teknik Şartnamesinde binder tabakası için verilen gradasyon limitlerine uygun şekilde hazırlanan agregası karışımları kullanılmıştır.

3.1.1. Agregası

Deneyler kapsamında hazırlanan numunelerde şahit (kontrol) agregası olarak Tokat ilinde bulunan bir taş ocağından temin edilen 0-5 mm, 5-12mm, 12-19 mm ve 19-25 mm dane boyutuna sahip kalker kökenli agregaları kullanılmıştır. Atık agregası olarak ise mermer atığı kaba agregası yerine ve kentsel dönüşüm beton atıkları da ince agregası yerine kullanılmıştır. Bu agregası grupları için farklı kodlar verilmiştir. Doğal agregası (D), mermer agregası (M), kentsel dönüşüm beton atığı agregası (K) harfleri ile gösterilmiştir. Çizelge 3.1' de Marshall dizaynında kullanılan agregası karışımlarının oranları ve kodları gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Marshall dizayn kombinasyonları

Grup Adı	Doğal Agregası (Kaba Agregası) %	Mermer Agregası (Kaba Agregası) %	Doğal Agregası (İnce Agregası) %	Kentsel Dön. Atığı (İnce Agregası) %	Doğal Agregası (Filler) %
1 (D-D-D)	100	-	100	-	100
2 (M-D-D)	-	100	100	-	100
3 (M-D5K5-D)	-	100	50	50	100
4 (D-D5K5-D)	100	-	50	50	100
5 (M-D7.5K2.5-D)	-	100	75	25	100
6 (D-D7.5K2.5-D)	100	-	75	25	100

Atık mermer

Mermer atığı olarak Tokat ili mermer işletmelerinin çevresinde bulunan atık mermer parçaları kullanılmıştır. Fabrika tarafından işlenen mermerler Tokat ili sınırları içerisinde çıkarılmaktadır. Şekil 3.1’ de mermer kütlelerinin kesim işlemi gösterilmiştir. Şekil 3.2’ de ise kesim işlemi sonrasında oluşan mermerlerin atıldığı saha gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Mermer kütlelerinin kesimi



Şekil 3.2. Atık mermer sahası

Atık sahasından alınan mermer parçaları laboratuvar tipi konkasör yardımıyla kırılarak doğal agregaya boyutuna getirilmiştir. Şekil 3.3’ de laboratuvar tipi konkasör gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Laboratuvar tipi konkasör

Kentsel dönüşüm beton atıkları

Beton atıkları olarak yıkımı gerçekleştirilen bir betonarme binanın atıkları kullanılmıştır. Beton atıkları Tokat ilinde bulunan bir firma tarafından öğütülerek 0-5 mm dane boyutuna getirilmiştir. Şekil 3.4’ de beton atıklarının öğütüldüğü cihaz gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Beton atıklarının öğütülmesi

3.1.2. Bitüm

Deneyler kapsamında Kırıkkale Rafinerisi’ nden temin edilen 50/70 penetrasyon sınıfına sahip bitüm kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

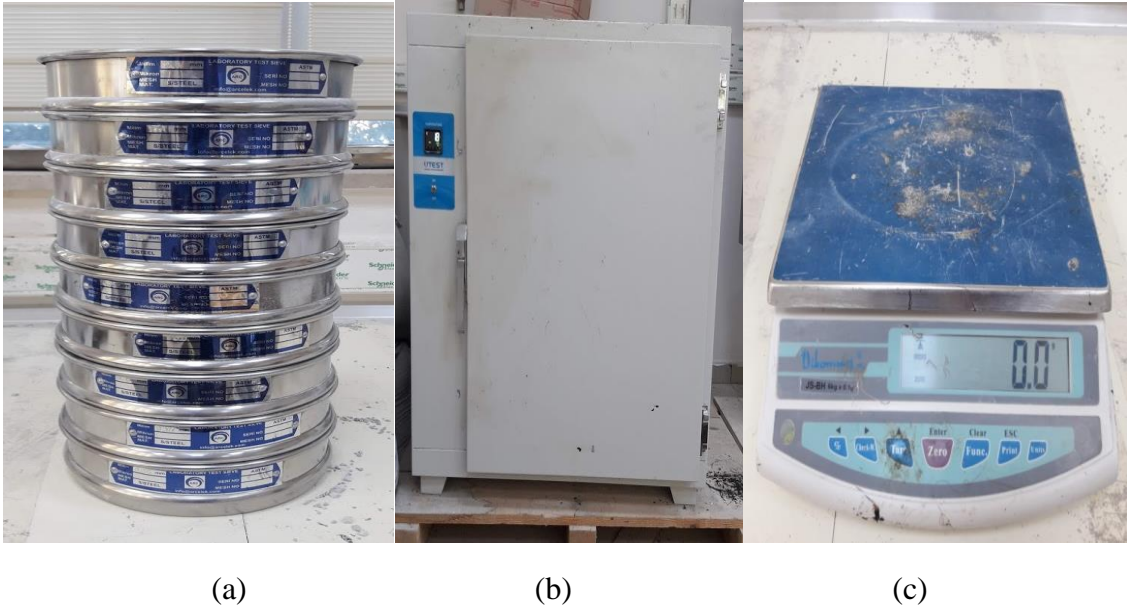
Bu bölümde deneyler kapsamında kullanılan malzemelerin, fiziksel özelliklerini belirlemek için uygulanan deneyler ve cihazlar hakkında bilgi verilmiştir.

3.2.1. Agrega deneyleri

Marshall numunelerini üretmek için deneysel çalışmalarda kullanılan dört farklı dane grubuna sahip üç tip agreganın fiziksel özelliklerini belirlemek için KTŞ 2013' de verilen standart agrega deneyleri yapılmıştır.

Elek analizi deneyi

Bu deney metodu, standartlarda nitelikleri verilmiş olan elekleri kullanarak agregaların dane büyüklüğü dağılımını bulmayı amaçlar (Ilıcalı ve ark., 2001). Bu deneyde TS EN 1900-1 standardı esas alınır. Elek analizinde kullanılacak olan numunenin miktarı, deneyde kullanılacak en büyük dane boyutuna göre belirlenir. Eleme el ile veya mekanik elek sarsıcı ile yapılabilir. Bitümlü sıcak karışımlardaki agregalar için kullanılan elek serisi genellikle büyükten küçüğe doğru; 25 mm (1"), 19 mm (3/4"), 12.7 mm (1/2"), 9.5 mm (3/8"), 4,76 mm (No.4), 2.00 mm (No.10), 0.425 mm (No.40), 0.177 mm (No.80), 0.074 mm (No.200) göz açıklığı olan eleklerdir (Ilıcalı ve ark., 2001). Çizelge 3.2' de verilen miktarlarda dörtleme metodu ya da bölgeç yardımıyla alınan numune $110^{\circ} \pm 5^{\circ} C$ 'lik sıcaklıktaki etüvde ya da havada kurutulur (Orhan, 2012).



Şekil 3.5. Elekler, etüv ve terazi

Çizelge 3.2. Elek açıklıkları ve deney numunesi ağırlıkları (Orhan, 2012).

Elek açıklığı		Deney numunesinin min. ağırlığı (kg)
in	mm	min (kg)
1 ½	37,5	15
1	25,0	10
¾	19,0	5
½	12,5	2
3/8	9,5	1
No.4	4,75	0,5

Kurutulmuş numune tartıldıktan sonra ince tanelerin tamamen ayrılması için agregalar No.200 elek üzerinde yıkanır. Yıkanan numune $110^{\circ} \pm 5^{\circ} C$ lik etüvde kurutulduktan sonra tartılarak kütlesi not edilir. Kurutulan numuneler, malzemenin % 100' ünün geçtiği elekten başlayarak alt eleklerden sırasıyla ayrı ayrı elenir (Orhan, 2012). Eleme sırasında elek hafif eğik olacak şekilde bir elle tutulur diğer el ile eleğin kenarına vurulur. 4,75 mm' den büyük olan elekler için elek üzerindeki malzeme tek tabaka halinde kaldığında elemeye son verilebilir. Eğer malzeme miktarı 20 kg veya daha fazla ise mekanik sarsıcının kullanılması tavsiye edilir. Mekanik sarsıcı daneleri yeterince sarsarak yer değiştirebilecek şekilde eleği düşey ya da düşey ve yatay hareket ettirmelidir. Eleme işleminin yaklaşık 10 dakikadan daha fazla sürmesi malzemenin ayrışmasına sebep olabileceği için eleme işlemine dikkat edilmelidir (Önal ve Kahramangil, 1993). Eleme sonunda her elek üzerinde kalan malzemeler 0,1 gr hassasiyetli terazi ile kümülatif tartılır. Tartımlar elek analizi formuna geçilir. Her elek üzerinde kalan miktarların yüzdesi ve daha sonra yüzde geçen miktarları hesaplanır.

Los Angeles Aşınma Deneyi

Los Angeles aşınma deneyi, agregaların aşınmaya karşı dayanıklılığını gösterir (Ilıcalı ve ark., 2001). Bu deney ile aşınma ve darbeleme etkileri sonucu mineral agreganın standart gradasyonunun bozulması ölçülür (Önal ve Kahramangil, 1993). Deneyde TS EN 1097-2 standardı dikkate alınmıştır. Bu deneyle dane boyutu 75 mm' den küçük olan kaba agregaların aşınmaya karşı mukavemeti bulunur. Los Angeles cihazı her iki ucu kapalı, iç çapı 711 ± 5 mm (28+0,2 in) ve iç uzunluğu 508 ± 5 mm (20+0,2 in)

olan içi boş çelik silindirden oluşur. Aşındırma yükleri yaklaşık 46,8 mm çapında dökme demir ya da çelik kürelerden oluşmaktadır. Her birinin ağırlığı 390-445 gramdır (İlçalı ve ark., 2001). Deneyde kullanılacak agrega malzemeleri yıkanır ve sabit kütleye ulaşınca kadar $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ' de etüvde kurutulur. Standartta verilen miktarlara uygun olarak 0,1 gr hassasiyetli terazi ile numune tartılır. Deneye alınacak numune grubuna göre bilye sayısı belirlenir. Çizelge 3.3' de numune miktarları, Çizelge 3.4' de ise bilye sayıları gösterilmiştir. Numuneyi yüklemeye önce tamburun temiz olup olmadığı kontrol edilir. Makineye önce dikkatlice bilyeler, sonra numune kısmı konur. Kapak kapatılır ve makine 31 devir/dakika ilâ 33 devir/dakika arasında sabit hızda A, B, C, D sınıfları için 500 devir; E, F, G sınıfları için ise 1000 devir döndürülür (TS EN 1097-2). Cihaz durduktan sonra deneye alınan agrega kaybını önlemek için tamburun kapağının olduğu kısım, alttaki tepsinin tam üstüne getirilerek agrega tepsiye dökülmelidir. Tambur temizlenerek ince danelerin raf etrafında kalmamasına dikkat edilmelidir. Agrega kaybının olmamasına dikkat edilerek bilyeler tepside alınır. Tepsideki malzeme, 1,6 mm' lik elek kullanılarak elenir ve yıkanır. 1,6 mm elekte kalan kısım, $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ' da ki etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulur (W_0). Şekil 3.6' da Los Angeles cihazı ve bilyeleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Granülometri sınıfları ve deney için gerekli numune miktarları (İlçalı ve ark., 2001)

Geçtiği elek (mm)	Üzerinde kaldığı elek (mm)	Alınacak miktarlar (g)						
		A	B	C	D	E	F	G
75	63					2500		
63	50					2500		
50	37,5					5000	5000	
37,5	25	1250					5000	5000
25	19	1250						5000
19	12,5	1250	2500					
12,5	9,5	1250	2500					
9,5	6,3			2500				
6,3	4,75			2500				
4,75	2,36				5000			
TOPLAM		5000± 10	5000± 10	5000± 10	5000± 10	10000 ±100	10000 ±75	10000 ±50

Çizelge 3.4. Kullanılan bilye sayısı ve yükleme ağırlıkları (İlçalı ve ark., 2001)

Granülometri sınıfları	Bilye sayısı	Yükleme ağırlığı (g)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15
E	12	5000±25
F	12	5000±25
G	12	5000±25



Şekil 3.6. Los Angeles cihazı ve bilyeleri

Los Angeles katsayısının formülü Eşitlik 3.1’ de verilmiştir.

$$\text{Los Angeles katsayısı (\%)} = \frac{5000 - W_0}{5000} * 100 \quad (3.1)$$

Burada $W_0 = 1,6$ mm’lik elek üzerinde kalan, yıkanıp etüvde kurutulmuş numune miktarıdır.

Hava tesirlerine karşı dayanım deneyi (donma deneyi)

Agregaların hava etkileriyle donarak ufalanmaya karşı olan dirençleri hakkında laboratuvarda kısa süre içinde karar verebilmek amacıyla uygulanan hızlandırılmış bir deneydir (İlçalı ve ark., 2001). 8 mm - 16 mm aralığında dane büyüklüğüne sahip numuneler atmosfer basıncında suya batırılarak su altında tutulur ve bu deney numuneleri, 10 defa donma-çözünme döngüsüne tâbi tutulur. Deneyde üç adet deney numunesi kullanılmalıdır. Burada, su altında $-17,5$ °C’ ye soğutma ve daha sonra da yaklaşık 20 °C’ deki su banyosunda çözme işlemi gerçekleştirilir. Donma-çözünme döngülerinin tamamlanmasından sonra agregalar, çatlak oluşumu, kütle kaybı ve varsa

mukavemet değişiklikleri gibi herhangi bir değişiklik olup olmadığı hususunda kontrol edilir (TS EN 1367-2). Deney numuneleri yıkanarak 110 ± 5 °C sıcaklıkta sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmalıdır. Etüvden çıkarılan numuneler ortam sıcaklığına kadar soğuduktan sonra hemen tartılmalıdır (M_1). Tartma işlemi, TS EN 1367-2' de belirtilen doğruluk seviyelerinde yapılmalıdır. Hazırlanan deney numuneleri, içerisinde damıtık veya demineralize su bulunan metal kutularda (20 ± 3) °C' de, (24 ± 1) saat süreyle atmosfer basıncında tutulur. Her bir metal kutudaki su seviyesinin, deney numunesinin en az 10 mm üzerinde olup olmadığı kontrol edilir ve kutuların kapakları kapatılarak dolaba yerleştirilir. Dolaptaki numuneler, aşağıda belirtilen şekilde, 10 defa donma-çözülme döngüsüne tâbi tutulur:

- Sıcaklık, (150 ± 30) dakikada (20 ± 3) °C'den 0 (sıfır) °C' ye düşürülür ve (210 ± 30) dakika süreyle 0 (sıfır) °C' de tutulur.
- Sıcaklık, (180 ± 30) dakikada 0 (sıfır) °C'den $(-17,5 \pm 2,5)$ °C' ye düşürülür ve en az 240 dakika süreyle $(-17,5 \pm 2,5)$ °C' de tutulur.
- Hiç bir aşamada, hava sıcaklığının, -22 °C'in altına düşmesine izin verilmemelidir.
- Her bir donma döngüsü tamamlandıktan sonra, kutu muhtevası, yaklaşık 20 °C' deki suya batırılmak suretiyle çözülür. Sıcaklık, (20 ± 3) °C' ye ulaştığında, çözme işlemi tamamlanmış sayılmalıdır.
- Her bir çözme aşaması tamamlandıktan sonra, kutular (20 ± 3) °C' deki suda en fazla 10 saat süreyle tutulur. Her bir donma-çözünme döngüsü, 24 saat içinde tamamlanmalıdır.

10. döngünün tamamlanmasından sonra her iki kutunun içindeki malzeme, deney numunesini hazırlamak için kullanılan alt elek büyüklüğünün yarısı kadar göz açıklığına sahip bir deney eleğinin üzerine boşaltılır (örneğin; 8 mm ilâ 16 mm aralığı için 4 mm göz açıklıklı bir deney eleği üzerine boşaltma yapılır). Deney numunesi, belirtilen elek üzerinde elle yıkanır ve elenir. Elek üzerinde kalan agrega 110 ± 5 °C' de sabit kütleye gelinceye kadar kurutulur, daha sonra ortam sıcaklığına kadar soğutulur ve hemen tartılır (M_2).

Üç deney numunesinin elek üstü kısımları birleştirilir ve buradan elek altı miktarı hesaplanır, tartılır ve elde edilen kütle, birleştirilen deney numunelerinin kütlece

yüzdesi olarak ifade edilir. Donma-çözünme deneyi sonucundaki kütle yüzde kaybı (F), Eşitlik 3.2' deki gibi hesaplanır (Ünsal ve Şen, 2008):

$$F = \frac{M_1 - M_2}{M_1} * 100 \quad (3.2)$$

M₁: Üç deney numunesinin toplam ilk kuru kütlesi,(g),

M₂: Belirtilen elekte tutulan üç deney numunesinin toplam nihai kuru kütlesi, (g)

Deneyde damıtık veya demineralize su yerine Na₂SO₄ ve MgSO₄ çözeltileri de kullanılabilir. Agregada üzerinde oluşturulan etki, doğada olan yaklaşık 500 donma ve çözülme olayına denktir (Orhan, 2012).

Yassılık indeksi deneyi

Kalınlığı, nominal boyutunun 0,6' sından daha küçük olan agregada danelerinin yassı olarak tanımlanmasına dayanan bir metottur (Orhan, 2012). İki elek arasında kalan tane için bu iki elek boyutunun aritmetik ortalaması nominal boyut olarak kabul edilir (Ilıcalı ve ark., 2001). Agregada numunesinin yassılık indeksi, yassı danelerin deneye tabi tutulan numunelerin ağırlığına oranı olarak ifade edilir. Yassı danelerden oluşturulan bir yapı, trafik yükleri altında stabil değildir. Yassı daneler trafik yükleri altında kolaylıkla kırılır ve karışımın mukavemetini azaltır. Bu yüzden agregada içerisindeki yassı danelerin oranını bilmek gerekir (Önal ve Kahramangil, 1993). Bu deney BS 812 standardına göre yapılır. Dane büyüklüğü 6,3 mm' den büyük ve 63 mm' den küçük olan agregalara uygulanır. Yassılık indeksi hesaplanacak agregaya önce elek analizi yapılır. Tabloda verilen elekler kullanılarak deney için gerekli miktarda numune alınır. Her elek arasında kalan malzeme danelerinin, yassılık indeksi şablonundaki kendi açıklıklarından geçip geçmediği el ile teker teker denenir. Her fraksiyonun yassı danelerinin ağırlığı tartılarak not edilir (Ilıcalı ve ark., 2001). Çizelge 3.5' de deneyde kullanılacak minimum malzeme miktarı verilmiştir.

Çizelge 3.5. Yassılık indeksi deneyi için gereken min. malzeme miktarı (Ilıcalı ve ark., 2001)

Maksimum Dane Boyutu (mm)	Minimum Malzeme Miktarı (kg)
63,5	25
50	18
37,5	8
25	2,5
12,5	1
9,5	0,5
6,3	0,250

Her fraksiyon için yassı dane yüzdesi aşağıdaki formül ile ayrı ayrı hesap edilir. Fraksiyonlara ait yassı dane yüzdelerinin toplamı malzemenin yassılık indeksini verir.

$$\text{Yassı Dane Yüzdesi} = \frac{M_2 \times 100}{M_1} \quad (3.3)$$

M_1 = Deneye alınan malzeme ağırlığı (g)

M_2 = Deneyde bulunan yassı malzeme ağırlığı (g) (Önal ve Kahramangil, 1993)



Şekil 3.7. Yassılık indeksi deney şablonu

Cilalanma deneyi

Bu deneyin amacı çeşitli yol agregalarının trafik yükleri altında sürtünme ile aşınarak ne dereceye kadar cilalanacaklarını laboratuvarında kısa bir zamanda saptamaktır. Yol yüzeyinde cilalanması yüksek olan agregaların bulunması yolun kaymaya karşı direncini etkileyen faktörlerden biridir. Agreganın cilalanma değeri ile kaymaya karşı olan direnci arasındaki ilişki trafik koşulları, kaplamanın tipi vs. gibi unsurlara bağlı olarak değişir. Deney iki kısımdan oluşur. Birinci kısımda agrega numuneleri özel bir

makine ile hızlandırılmış olarak cilalanmaya tabi tutulur. İkinci kısımda ise sürtünme aleti ile cilalanan agrega numunelerinin cilalanma değeri ölçülür (Umar ve Ağar, 1991). Deney için hızlandırılmış bir cilalanma makinası ile kayma direncini ölçme cihazı kullanılır. Hızlandırılmış cilalanma makinesinde, çevresine 14 adet numunenin yerleştirilebileceği bir tabla bulunur. Bu tabla üzerine yerleştirilen numuneler 6 saat süre ile 20,3 cm çapa, 5 cm genişliğe ve 3,16 kg/cm² iç basınca sahip lastik tekerleğin aşındırıcı etkisine tabi tutulur. Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’ da deney cihazları gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Cilalanma deneyi cihazı



Şekil 3.9. Kayma direnci ölçme cihazı

Her numunenin deney sonunda eriştiği cilalanma durumu, bu numunenin yüzeyi ile sarkaç tipindeki portatif bir kayma direnci ölçme aletinin lastik takozu arasındaki sürtünme katsayısı olarak ölçülür. Sonuç cilalanma katsayısı olarak ifade edilir (Umar ve Ağar, 1991).

Su etkilerine karşı dayanıklılık (soyulma) deneyi

Asfalt kaplamanın ömrü, suyun tesiri altındaki agregaların yapışma kabiliyetine bağlıdır. Agregaya ile bağlayıcı madde arasındaki bağın kaybolması durumunda kaplamanın kısa zamanda bozulduğu görülmektedir. Suyun ve trafiğin bir arada etkimesi sonucu bağlayıcı maddenin agregaya üzerinden ayrılmasına soyulma denir. Agregaya bağlayıcı ile tamamen sarılmamış ise soyulma daha kolay olur. Bu yüzden beton asfalt kaplama gibi karışımlarda soyulmanın etkisi yüzeysel kaplamaya nazaran daha az olur (Umar ve Ağar, 1991). Bu deneyde, su ve sıcaklık etkisiyle agregaya bitüm adezyonundaki azalma belirlenir. Soyulma miktarı, kullanılan agregaya cinsine (kalker, bazalt, gibi) ve bitümlü bağlayıcı tipine bağlıdır. Soyulma mukavemeti düşük agregalarda, kullanılacak bağlayıcıya katkı maddeleri ilave edilerek, soyulma mukavemeti artırılır.

KTŞ Kısım 403 Ek-A' da belirtildiği gibi boyutu 10-6,3 mm olan 600 g kırılmış agregaya numunesi 6,3 mm' lik elekten yıkanarak elendikten sonra 110 ± 5 °C' lik etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Hazırlanan malzemedan 150 adet agregaya numunesi bir kaptan, deneyde kullanılacak miktardaki bitümlü bağlayıcı ayrı bir kaptan olmak üzere karıştırma kabı ile birlikte şartnamede verilen sıcaklıklara uygun olarak etüvde ısıtılır. Etüvden çıkarılan karıştırma kabının içerisine ısıtılan agregaya numunesi konulur ve agreganın ağırlıkça % 5' ine eşit miktarda ısıtılan bitüm agreganın üzerine dökülür. Agregaya ve bitüm numunesi karıştırma kabında agregalar bitüm ile tamamen kaplanıncaya kadar karıştırılır. Karışım numunesi belirli çaptaki iki petri kabına eşit miktarda aktarılır ve kaplanmış mıcırklar birbirinden tamamen ayrı olacak şekilde cam bagetle çok hafif darbelerle düzeltilerek yerleştirilir. Petri kapları, 1 saat \pm 5 dakika laboratuvar sıcaklığında bekletilir ve saf su ile dolu derin bir tepsi içerisine üzerlerinde en az 3 cm su olacak şekilde yerleştirilir. 24 saat bekletilmek üzere 60 °C' lik etüve konur. Bu süre sonunda petri kabı dışarı alınır ve suyu değiştirilerek yandan gelen bir ışık altında numunenin üst kısmı gözle incelenir. Deney sonunda tüm agregaya danelerinin

soyulmamış yüzeylerinin (kahverengimsi, saydam kısımlar soyulmamış kabul edilir) bütün yüzeye oranı en yakın % 5' e yuvarlanarak soyulmaya karşı dayanıklılık belirlenir (KTŞ, 2013).

Sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlık deneyleri

Bu deneyin amacı agreganın gevşek ve sıkışık olarak kapladığı hacmi bulmaktır. Agreganın kap içerisindeki net ağırlığının kap hacmine bölünmesiyle hesaplanır ve birimi kg/m³ veya gr/dm³ olarak bulunur. Malzemeyi temsil eden numune standartlarda belirtilen şekilde alınır. Etüvde 105 °C ±5 ° C de değişmez ağırlığa (etüv kurusu) kadar kurutulur. Agreganın sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlıkları şu şekilde hesaplanır.

Sıkışık birim hacim ağırlık deneyinde hacmi (V) ve kütlesi (W₁) belli olan kap 1/3' üne kadar agrega ile doldurulur ve özel şişleme çubuğu ile yüzeyinin her kısmına eşit olacak şekilde 25 kez vurularak sıkıştırma yapılır. Aynı şekilde daha sonra kabın 2/3' ü ve son olarak tamamı agrega ile doldurulur ve bu tabakalara da 25 kez şişleme yapılır. Şişleme çubuğu ile ölçü kabının üst yüzeyi düzeltilerek ölçü kabı agrega ile birlikte tartılır (W₂) ve aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır (Gürer, 2005; TS EN 1097-3). Şekil 3.10' da ölçü kapları gösterilmiştir.

$$\Delta_s = \frac{W_2 - W_1}{V} \text{ (g/ dm}^3\text{)} \quad (3.4)$$

Burada;

Δ_s : Sıkışık birim hacim ağırlık (g/ dm³)

W₂: Sıkışık agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (g)

W₁: Ölçü kabı boş ağırlığı (g)

V: Ölçü kabının iç hacmi (dm³)

Gevşek birim hacim ağırlık deneyinde ise işlem şu şekildedir. Malzemeyi temsil eden agrega numunesi alınır. Agregaya el küreği ile hacmi (V) ve kütlesi (W₁) belli olan kaba üst yüzeyinden en fazla 5 cm yükseklikten dökülür ve bir miktar taşacak şekilde doldurulur. Ölçü kabı üst yüzü çelik cetvel ile dikkatlice sıyırılarak üst yüzey düzlenir. Gevşek agrega ile dolu ölçü kabı tartılır (W₂) ve gevşek birim ağırlık aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır (Gürer, 2005; TS EN 1097-3).

$$\Delta_g = \frac{W_2 - W_1}{V} \text{ (g/ dm}^3\text{)} \quad (3.5)$$

Burada;

Δ_g : Gevşek birim hacim ağırlık (g/ dm³)

W_2 : Gevşek agregaya ile dolu ölçü kabı ağırlığı (g)

W_1 : Ölçü kabı boş ağırlığı (g)

V : Ölçü kabının iç hacmi (dm³)



Şekil 3.10. Birim hacim ağırlık ölçü kapları

Özgül ağırlık ve su emme deneyi

Özgül ağırlık, belirli hacimdeki numune ağırlığının, aynı hacimde ve +4 °C' deki suyun ağırlığına oranıdır. Özgül ağırlık boyutsuz bir değerdir. Özgül ağırlık deneyi kaba ve ince agregalara ayrı ayrı yapılır. Genel olarak zahiri özgül ağırlık (G_{sb}) ve hacim özgül ağırlık (G_{sb}) olmak üzere iki tür özgül ağırlık vardır (Umar ve Ağar, 1991).

Belirlenen karışım gradasyonuna uygun olarak hazırlanan numuneler üzerinde kaba ve ince agregaya için hacim ve zahiri özgül ağırlık ile su absorpsiyonu; filler malzeme için zahiri özgül ağırlık deneyi uygulanır. Kaba, ince ve filler malzemenin özgül ağırlıkları kullanılarak, agregaya karışımının özgül ağırlıkları Eşitlik 3.6 ve 3.7' deki gibi hesaplanır.

$$G_{sb} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\frac{\%K}{G_{kb}} + \frac{\%İ}{G_{ib}} + \frac{\%F}{G_{fa}}} \quad (3.6)$$

$$G_{sa} = \frac{\%K + \%I + \%F}{\frac{\%K}{G_{ka}} + \frac{\%I}{G_{ia}} + \frac{\%F}{G_{fa}}} \quad (3.7)$$

Burada;

G_{sb} = Agregaların hacim özgül ağırlığı,

G_{sa} = Agregaların zahiri özgül ağırlığı,

$\%K, \%I, \%F$ = Agregaların ağırlıkça yüzdeleri,

G_{kb}, G_{ib} = Agregaların hacim özgül ağırlıkları,

G_{ka}, G_{ia}, G_{fa} = Agregaların zahiri özgül ağırlıkları (Orhan, 2012).

Kaba agrega özgül ağırlık ve su emme deneyi

Deneye tabi tutulacak malzemenin 4,75 mm (No.4) elek üzerinde kalan kısmından en az 2 kg alınır ve iyice yıkanır. Yıkanan malzeme 24 saat su içerisinde bekletilir. Numuneler bu süre sonunda sudan çıkarılarak su emici özelliği olan bir havlu üzerine serilir. Daneler üzerinde gözle görülebilecek şekilde su taneleri kalmayana kadar kurulanır. Kurulama işleminde agrega danelerinin gözeneklerindeki suyun buharlaşmamasına dikkat edilmelidir. Bu şekilde doymuş yüzey kuru hale getirilen malzeme tartılır (B) ve sonucu kaydedilir (Önal ve Kahramangil, 1993). Daha sonra deney numunesi tel sepete yerleştirilir. Tel sepet, suyun seviyesi sepetin üst kısmından en az 50 mm yukarıda olacak şekilde $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$ sıcaklıkta su ihtiva eden tanka daldırılır. Daldırmadan hemen sonra sepet, tankın tabanından yaklaşık 25 mm yukarıya kaldırılarak saniyede bir kez olmak üzere 25 defa bu yükseklikten düşürülür. Bu şekilde hapsolmuş hava deney numunesi kısmından uzaklaştırılır (C) ve tartım sonucu kaydedilir (TS EN 1097-6). Deney numunesi tel sepetten bir tepsiye dökülerek $110 \pm 5^\circ\text{C}$ lik etüvde değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulur. Etüvden çıkarılan malzeme 1-3 saat oda sıcaklığında soğutulur ve kuru numune tartılır (A). Şekil 3.11' de tel sepet ve sızdırmaz tank gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Tel sepet ve sızdırmaz tank

Kaba agreganın kuru ve doymuş yüzey kuru hacim özgül ağırlıkları, zahiri (görünür) özgül ağırlığı ve su emme yüzdesi aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$$\text{Hacim özgül ağırlık (Kuru)} = \frac{A}{(B-C)} \quad (3.8)$$

$$\text{Doymuş yüzey hacim özgül ağırlık} = \frac{B}{(B-C)} \quad (3.9)$$

$$\text{Zahiri (görünür) özgül ağırlık} = \frac{A}{(A-C)} \quad (3.10)$$

$$\text{Su emme yüzdesi} = \frac{(B-A)}{A} \times 100 \quad (3.11)$$

Burada;

A: Etüvde kurutulmuş deney numunesinin kütlesi, (g).

B: Doymuş -yüzey kuru numune kütlesi, (g).

C: Doymuş-yüzey kuru numunenin sudaki kütlesi, (g). (Önal ve Kahramangil, 1993)

İnce agrega özgül ağırlık ve su emme deneyi

Karışım gradasyonunu temsil edecek şekilde 1000 g veya daha fazla agrega karışımı hazırlanır. Deneyde kullanılacak malzeme No.200 elekte iyice yıkanır. Bir tepsi içine alınan malzeme üzeri su ile kaplanarak 24 saat bekletilir. Bu süre sonunda ince malzeme kaybına neden olmayacak şekilde su süzülür. Numuneyi doygun yüzey kuru hale getirmek için sıcak hava akımı karşısında devamlı karıştırarak kurutma işlemi yapılır. Bu işlem malzeme karıştırılırken serbest dökülebilir hale gelene kadar devam edilir. Bu anı tespit etmek için koni metodu uygulanır. Koni metodu şu şekilde uygulanır: metal koni dar kısmı yukarı gelecek şekilde düz bir yüzeye oturtulur. Numune koni içine gevşek olarak taşacak şekilde doldurulur. Numune, sıkıştırma çubuğunun koni yüzeyinden 5 mm yükseklikte 25 serbest düşüşü ile sıkıştırılır ve koni dikey olarak kaldırılır. Eğer agreganın yüzey rutubeti hala mevcutsa agrega yığını kalıbın şeklini korur. Yığın yavaşça çökerse agreganın doygun-yüzey kuru durumuna geldiği anlaşılır. Bu işlemden sonra piknometrenin boş ağırlığı (A) ve piknometre çizgisine kadar saf su doldurulmuş ağırlığı (B) tartılır ve not edilir. Piknometrenin içerisine doygun-yüzey kuru haldeki numuneden yaklaşık 500 gram numune konularak bu şekilde tekrar tartılır ve kütlesi not edilir (C). Piknometredeki numune seviyesini geçecek şekilde piknometre çizgisine kadar saf su doldurulur. Piknometre avuç içinde döndürülerek malzeme içerisindeki hava kabarcıklarının çıkması sağlanır. Bu işlem yaklaşık 15- 20 dakika sürmektedir. Bu şekilde hazırlanan piknometre $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlı su banyosuna yerleştirilir. Piknometre, içindeki su ve malzeme 25°C 'ye ulaştıktan sonra su banyosundan çıkartılarak su seviyesinin işaret çizgisinde olup olmadığı kontrol edilir. Hemen kurularak 0,1 g hassasiyetindeki terazi ile tartılır (D). İnce agrega piknometreden bir kaba boşaltılır ve $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ' lik etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Etüvden çıkartılan malzeme oda sıcaklığında soğutulur ve tekrar tartılır (E) (Önal ve Kahramangil, 1993; TS EN 1097-6). İnce agreganın kuru ve doygun yüzey kuru hacim özgül ağırlıkları, zahiri (görünür) özgül ağırlığı ve su emme yüzdesi aşağıda gösterilen eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$$\text{Hacim özgül ağırlık} = \frac{E}{(B+C-A-D)} \quad (3.12)$$

$$\text{Doygun yüzey hacim özgül ağırlık} = \frac{C-A}{(B+C-A-D)} \quad (3.13)$$

$$\text{Zahiri (görünür) özgül ağırlık} = \frac{E}{(B+E-D)} \quad (3.14)$$

$$\text{Su emme yüzdesi} = \frac{(C-A-E)}{E} \times 100$$

Burada;

A: Piknometre boş ağırlığı, (g).

B: 25°C'deki su dolu piknometre ağırlığı, (g).

C: Piknometre ve doymun-yüzey kuru numune ağırlığı, (g).

D: 25°C'deki numune ve su dolu piknometre ağırlığı, (g).

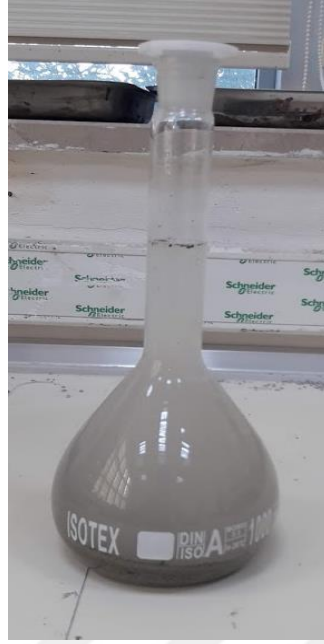
E: Kuru numune ağırlığı, (g).



Şekil 3.12. İnce agregaların doymun kuru



Şekil 3.13. Abraham hunisi ve tokmağı yüzey hale getirilmesi



Şekil 3.14. Piknometre

Mineral filler zahiri özgül ağırlık deneyi

Deneye başlamadan önce temiz ve kuru olan özgül ağırlık şişesi ve kapağı tartılarak kütlesi not edilir (A). Şişe ağzına kadar saf su ile doldurulur ve $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$ 'lik sıcaklıkta en az 60 dakika tutulur. Bu süre sonunda su banyosundan çıkarılan şişe iyice kurularak tartılır (B). Filler, $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 'lik etüvde 4 saat kurutulur. Etüvden çıkarılan filler malzemesi oda sıcaklığında soğutulur. Bir huni yardımıyla kuru ve temiz olan şişesinin üçte biri dolacak şekilde filler şişeye boşaltılır ve şişe kapatılarak tartılır (C). Daha sonra şişenin yarısına kadar su doldurulur, 5 dakika vakumlu desikatör veya su trompu ile düşürülmüş basınca (yaklaşık 50 mbar) maruz bırakılarak içindeki hava çıkartılır. Bu işlem bittikten sonra şişe tamamen su ile doldurularak $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$ 'lik su banyosunda en az 60 dakika bekletilir, kapağı kapatılarak su banyosundan çıkartılır, kurulanır ve tartılır (D) (Önal ve Kahramangil, 1993). Fillerin zahiri özgül ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Fillerin zahiri özgül ağırlığı} = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)} \quad (3.15)$$

Burada;

A: Piknometre ağırlığı (g),

- B: Piknometrenin su dolu ağırlığı (g),
C: Piknometre ve kuru numune ağırlığı (g),
D: Piknometrenin numune ve su dolu ağırlığı (g).

3.2.2. Bitüm deneyleri

Penetrasyon deneyi

Yarı katı veya akıcı olmayan bağlayıcıların kıvamlarının viskozimetreler ile ölçülmesi mümkün değildir. Bu durumda penetrasyon deneyi yapılır. Penetrasyon deneyi standart bir iğnenin belirli ısı ve zaman koşulları altında numuneye düşey olarak battığı derinliğin ölçülmesinden ibarettir (Umar ve Açar, 1991). Penetrasyon deneyine tabi tutulan bitümlü bağlayıcı numunesi TS EN 1426' ya göre alınır. Numune yumuşama noktası sıcaklığını geçmeyecek kadar ısıtılıp numune kabına aktarılır ve kap içinde hava kabarcıkları kalmaması sağlanır. Numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılır. Numunelerin soğuma işlemi bittikten sonra numune kapları aktarma kabının içine konularak sabit sıcaklıktaki (25 ° C) su banyosuna yerleştirilir ve 1-1,5 saat bekletilir. Bu arada penetrasyon cihazının gerekli kontrolleri yapılarak iğnesi temizlenmelidir. Bu süre sonunda aktarma kabı, içindeki numune ile birlikte penetrasyon cihazının tablasına konulur. Cihazın iğnesi numune yüzeyine temas edecek fakat numuneye batmayacak şekilde ayarlanır ve deneye hazır duruma getirilir (Ilıcalı ve ark., 2001). Malzeme 25 ° C' de 100 g yük ve 5 saniye süre ile penetrasyona uğratılır (Umar ve Açar, 1991). Numune üzerinde kabın kenarına ve birbirine yakın olmayan noktalardan en az 3 deneme yapılmalıdır. Yapılan ölçümlerin aritmetik ortalaması en yakın tam sayıya yuvarlanarak penetrasyon değeri elde edilir. Eğer deney 2 dakika içerisinde yapılamaz ise numune ve aktarma kabı yeniden su banyosuna konulur ve ölçümler tekrarlanır. Penetrasyon birimi 1/10 milimetredir. Yani 100 penetrasyon 1 cm demektir. Şekil 3.15' de penetrasyon deney cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Penetrasyon deney cihazı

Özgül ağırlık deneyi

Bitümlü maddenin özgül ağırlığı 25°C ' de belli bir hacminin ağırlığının aynı sıcaklık ve hacimdeki suyun ağırlığına oranıdır. Bitümlü malzemenin özgül ağırlığının bilinmesi başlıca iki sebepten dolayı önemlidir. Birincisi; çok defa ağırlıkla hacim arasındaki bağıntının bilinmesi faydalıdır. Bitümlü kaplamalara ait şartnamelerde oranlar ağırlıkça yüzde cinsinden belirtilir. Buna karşılık bağlayıcılar çok defa hacimle ölçülür. Sıcak karışımlarda ise bağlayıcının genleşme katsayısının belirlenmesi faydalıdır. Böylece herhangi bir sıcaklıktaki özgül ağırlık hesaplanabilir. İkincisi; hidrokarbonlu bağlayıcının cinsinin bilinmesi açısından özgül ağırlık yararlıdır. Özgül ağırlığın hesaplanabilmesi için Şekil 3.16' daki gibi piknometre metodu kullanılır (Umar ve Açar, 1991). Bu deney TS EN 15326 standardına uygun olarak yapılmaktadır. Metoda göre piknometre temizlenip kurutulduktan sonra boş olarak tartılır (A). Piknometreyi saf su ile doldurup kapağını kapattıktan sonra 25°C ' lik su banyosunda bir süre bekletilip piknometre kurulur ve tartılır (B). Özgül ağırlığı bulunacak bitüm numunesi ısıtılarak akıcı hale getirilir ve hava kabarcığı oluşmamasına dikkat ederek piknometrenin yarısına kadar doldurulur. Oda sıcaklığına kadar soğutulan piknometre kapağı ile birlikte tartılır (C). Daha sonra tartılan numuneye saf su ilave edilerek kapağı kapatılır

ve 25 °C' lik su banyosunda bir süre bekletilip bir bezle kurulandıktan sonra tartılır (D). Özgül ağırlık Eşitlik 3.17' deki gibi hesaplanır (İlcalı ve ark., 2001).

$$\text{Özgül Ağırlık} = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \quad (3.17)$$

A = Piknometrenin boş ağırlığı (g),

B = Piknometrenin su ile dolu ağırlığı (g),

C = Piknometrenin bağlayıcı ile birlikte ağırlığı (g),

D = Piknometrenin bağlayıcı ve su ile dolu ağırlığı (g).

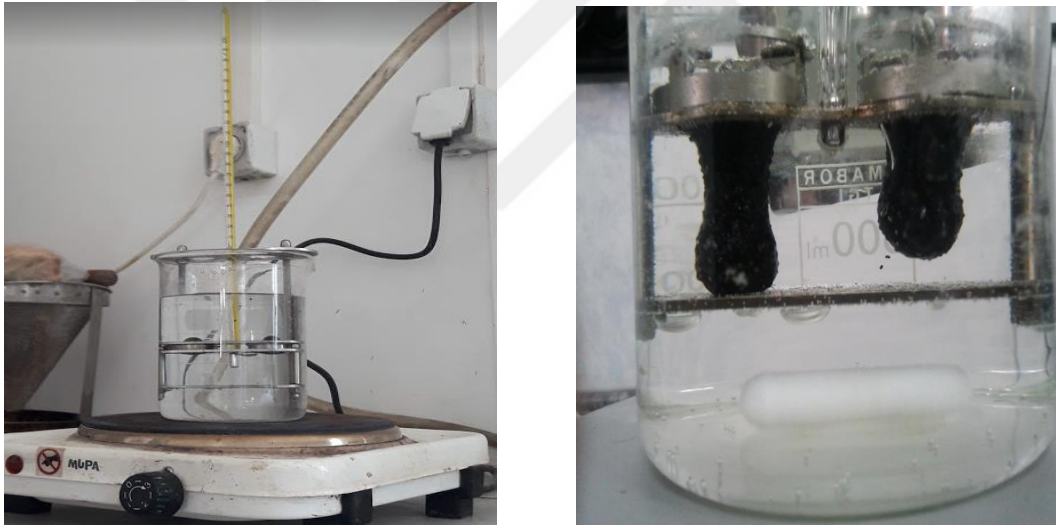


Şekil 3.16. Piknometre yöntemi

Yumuşama noktası deneyi

Bitümlü bağlayıcıların sıcaklık karşısındaki davranışları farklılıklar göstermektedir. Bütün bitümlü bağlayıcıların yumuşaması belirli bir sıcaklıkta gerçekleşmez. 25 °C sıcaklıkta aynı penetrasyona sahip iki bitümlü bağlayıcı numunesi farklı sıcaklıkta farklı özellikler gösterebilirler (İlcalı ve ark., 2001). Bitümlü bağlayıcının sıcaklığa karşı duyarlılığını ölçmek için (hangi sıcaklıkta bitümün akmaya başladığı) yüzük-bilye yöntemi ile yumuşama noktası olarak ifade edilen sıcaklığı belirlenir (Orhan, 2012). Deneyin yapılabilmesi için bitüm numunesi ısıtılarak akıcı hale getirilir ve içinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde iyice karıştırılır. Bir pirinç levha üzerine yapışmayı önleyici bir madde (vazelin gibi) sürüldükten sonra halkalar levha üzerine konulur. Isıtılıp karıştırılan numune halkaların içine halka üst seviyesini geçecek şekilde

doldurulur. Numune 1 saat soğutulur ve halkaların üzerine taşan numune ısıtılmış spatula ile yatay şekilde kesilip atılır. Cam kaba 8,25 cm (3,25 inç)' lik yüksekliğe ulaşacak şekilde 5°C' lik saf su konulur. İçinde numune bulunan halka suyun içine daldırılır. Halkanın alt yüzü cam kabın dibinden 2,54 cm (1 inç) yukarıda, üst yüzey ise su seviyesinden 5,08 cm (2 inç) aşağıda bulunacak şekilde ayarlanır. Daha sonra bilye su dolu beher içine konulur. Cam termometre suya batırılır. Termometrenin civa haznesinin altı halkanın alt yüzeyi ile aynı olacak seviyede ve halkaya yaklaşık 0,5 cm mesafede yerleştirilir. Ardından bilye maşa yardımıyla beher tabanından alınarak halka üzerine numunenin ortasına yerleştirilir. Su sıcaklığı dakikada 5 °C artacak şekilde beher ısıtılmaya başlanır. Halka içindeki bitümlü bağlayıcının alt tablaya değdiği anda termometrede okunan sıcaklık yumuşama noktası değeridir. Yumuşama noktası deneyi Şekil 3.17' de görüldüğü gibi iki adet halka ile yapılır ve bu iki değerın ortalaması alınır.



Şekil 3.17. Yumuşama noktası deney düzeneği

3.2.3. Kaplama karışım hesabında kullanılacak bağıntılar

Agrega efektif özgül ağırlığının hesabı

Agrega efektif özgül ağırlık değeri, zahiri ve hacim özgül ağırlık değeri arasında olmalıdır. Efektif özgül ağırlık bu iki değer arasında değilse teorik özgül ağırlık deneyi (D_T) tekrar yapılmalıdır. D_T değeri zor bir deney sonucunda bulunduğu için, kimi zaman doğru sonuçlar bulunamayabilir. Bunun için zahiri ve hacim özgül ağırlık

değerlerinin ortalaması efektif özgül ağırlık değeri olarak alınabilir (Önal ve Kahramangil, 1993).

Agrega karışımının efektif özgül ağırlığı Eşitlik 3.18' de verilen formülle hesaplanır:

$$G_{ef} = \frac{100}{\frac{100+W_a}{D_T} - \frac{W_a}{G_b}} \quad (3.18)$$

Burada:

G_{ef} = Agrega efektif özgül ağırlığı,

W_a = Agrega yüzdesi olarak bitüm,

D_T = Gevşek kaplama karışımının boşluksuz maksimum özgül ağırlığı,

G_b = Bitüm özgül ağırlığı.

Farklı bitüm içeriğinde hazırlanmış olan karışımın maksimum özgül ağırlık ve bitüm absorpsiyon değerinin hesaplanması

Farklı bitüm yüzdeleri için hava boşluğu hesaplanırken, bu bitüm yüzdelerindeki maksimum özgül ağırlık değerlerinin bilinmesi gerekir. Bitüm miktarının değişmesi ile bitüm absorpsiyonu önemli ölçüde değişmez. Maksimum özgül ağırlık (D_T) Eşitlik 3.19' da verildiği gibi hesaplanır (Önal ve Kahramangil, 1993).

$$D_T = \frac{100+W_a}{\frac{100}{G_{ef}} + \frac{W_a}{G_b}} \quad (3.19)$$

D_T = Kaplama karışımının boşluksuz maksimum teorik özgül ağırlığı,

W_a = Agreg ağırlığının yüzdesi olarak bitüm,

G_{ef} = Agreganın efektif özgül ağırlığı,

G_b = Bitüm özgül ağırlığı.

Agrega tarafından absorbe edilen bitüm Eşitlik 3.20' deki gibi hesaplanır:

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{ef} - G_{sb}}{G_{ef} * G_{sb}} \times G_b \quad (3.20)$$

P_{ba} = Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak absorbe edilen bitüm,

G_{ef} = Agreganın efektif özgül ağırlığı,

G_{sb} = Agreganın hacim özgül ağırlığı,

G_b = Bitüm özgül ağırlığı.

Agreganın dışını kaplayan bitüm oranı P_{be} Eşitlik 3.21' de verilen formülle hesaplanır.

Bu kaplama karışımının performansına etki edecek olan bitüm miktarıdır.

$$P_{be} = W_a - P_{ba} \quad (3.21)$$

Burada;

P_{be} = Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak efektif bitüm miktarı,

W_a = Agreganın ağırlığının yüzdesi olarak bitüm,

P_{ba} = Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak absorbe edilen bitüm.

Sıkıştırılmış kaplama karışımındaki yüzde VMA oranının hesabı

Bu oran sıkıştırılmış olan kaplama karışımının agrega daneleri arasındaki boşluk olarak tanımlanmaktadır. Toplam hacmin yüzdesi cinsinden hesaplanır. Agreganın hacim özgül ağırlığı dikkate alınarak hesaplanan bu değer sıkıştırılmış kaplama karışımının hacminin yüzdesi şeklinde ifade edilir. Bu değer Eşitlik 3.22' deki formül yardımıyla hesaplanır (Önal ve Kahramangil, 1993).

$$VMA = \left(100 - \frac{D_p}{G_{sb}}\right) \left(\frac{100}{100 + W_a}\right) \times 100 \quad (3.22)$$

Burada;

VMA = Agregalar arası boşluk yüzdesi,

D_p = Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı,

G_{sb} = Agreganın hacim özgül ağırlığı,

W_a = Agreganın ağırlığının yüzdesi olarak bitüm.

Sıkıştırılmış kaplama karışımındaki hava boşluğu (V_h) ve asfaltla dolu boşluk (V_f) yüzdesinin hesabı

Sıkıştırılmış karışımındaki hava boşluğu, bitüm ile kaplanan agrega danelerinin arasındaki küçük hava boşluklarından oluşmaktadır (Önal ve Kahramangil, 1993).

Hava boşluğu oranı için şartnamede alt ve üst sınır değerleri (binder tabakası için % 4-6 gibi) belirlenmiştir. Bu değer için üst sınır konmasının nedeni şudur; boşluk değerinin arttıkça stabilitenin düşmesi, geçirimsizliğin ise artmasıdır. Öte yandan sıcak aylarda bağlayıcı hacminin artması sonucunda boşlukların tamamen dolması, agreganın bağlayıcı madde ile yağlanmış hale gelmesi ve bağlayıcıyı kusması sebebiyle de boşluk oranı için bir alt sınır belirlenmiştir (Umar ve Ağar, 1991).

$$V_h = \left(\frac{D_T - D_P}{D_T} \right) \times 100 \quad (3.23)$$

Burada;

V_h : Toplam hacmin yüzdesi olarak hava boşluğu,

D_T : Karışımın maksimum özgül ağırlığı,

D_P : Karışımın hacim özgül ağırlığı.

Asfaltla dolu boşluk (V_f) ise sıkıştırılmış kaplama karışımının bitüm ile dolu olan boşluklarını içermektedir. Bu özellik agregaların boşluklarının bağlayıcı madde ile ne dereceye kadar doldurulduğu ile ilgilidir. Bu değer şartname limitlerinin altında kalırsa, agregaları saran asfalt film tabakası kalınlığı azalmaktadır. Asfalt film tabakası kalınlığının az olması iklim ve nem koşullarında agregaların performansının düşmesine neden olmaktadır. Buna karşılık limit değerinin aşılması durumunda ise durabilite için gerekli olan boşluklar bağlayıcı madde ile dolmaktadır. Film tabakası kalınlığının gerekenden az olması durumunda, kaplama kırılabilir olmaktadır. Film tabakası kalınlığının çok olması asfaltın kusmasına sebep olacaktır. KTŞ 2013' e göre binder tabakası için belirlenen asfaltla dolu boşluk oranının ortalama değeri % 67,5' tur (Öksüz, 2011).

$$V_f = \left(\frac{VMA - V_h}{VMA} \right) \times 100 \quad (3.24)$$

Burada;

V_f : Asfalt ile dolu boşluk,

VMA: Agregalar arası boşluk yüzdesi,

V_h : Toplam hacmin yüzdesi olarak hava boşluğu.

3.2.4. Marshall karışım dizaynı

Marshall deneyine başlamadan önce uygun granülometri ile hazırlanmış olan 1150 gr agrega karışımı ve bitüm 150 - 160 °C' ye ayarlı etüvde 3-4 saat bekletilir. Karıştırma işlemine geçilmeden yarım saat önce numune kalıpları, karıştırma kabı, karıştırıcının ucu veya kaşık, spatula, numune küreği gibi metal aletler etüvde ısıtılır. Daha sonra aşağıda verilen sıra ile deney işlemi gerçekleştirilir (Aslan, 2015).

- Etüvden çıkarılan karıştırma kabına, ısıtılan 1150 gr agrega karışımı konular ve hassas bir şekilde istenilen miktarda bitüm agrega karışımına ilave edilir.
- Karıştırma kabına koyulan malzemeler homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılır. Burada karıştırma esnasında malzemelerin sıcaklığının düşmemesine dikkat edilmelidir. Bunun için karıştırma sırasında kap ısıtıcıya yerleştirilmelidir. Şekil 3.18' de karışımın hazırlanışı gösterilmiştir.
- Karışım hazırlanırken numune kalıbı etüvden çıkarılarak içi yağlanır ve tabanına uygun boyutta kesilmiş olan kağıt konular. Bu kalıplar 101,6 mm çapında ve 76,2 mm yüksekliğindedir. Hazırlanan karışım etüvden çıkarılan kürek yardımıyla numune kalıbına doldurulur. Karışım kalıba doldurulurken boşlukların giderilmesi için etüvden çıkarılan spatula yardımıyla şişlenmelidir. Son olarak kalıbın üst kısmına yağlı kağıt konular. Burada dikkat edilmesi gereken diğer bir husus karışım kaybının olmamasıdır. Karışım kalıba doldurulurken kap, kürek, spatula, kaşık gibi aparatlarda kalan malzeme iyice kazınmalıdır. Şekil 3.19' da karışımın kalıba yerleştirilmesi gösterilmiştir.
- Hazırlanan kalıplar sıkıştırma sıcaklığındaki etüvde 2 saat bekletilir. Sıkıştırılmaya hazır numunelerin sıcaklık değerlerinin farklı olması durumunda başta yoğunluk değeri olmak üzere diğer tüm Marshall parametrelerinin sonuçları yanlış çıkacaktır. Bu nedenle sıkıştırılacak olan karışımların aynı sıcaklık ve şartlar altında olmasına dikkat edilmelidir.
- Karayolları Teknik Şartnamesine göre bitümlü sıcak karışımların binder tabakasının sıkıştırılması için gerekli tokmak sayısı 75' tir. Sıkıştırma işlemi bir

yüze yapıldıktan sonra kalıp ters çevrilerek 75 defa da diğer yüzey tokmaklanır. Tokmaktama işlemini yapan aparatın ağırlığı yaklaşık 4,5 kg olup 45 cm yükseklikten serbest düşüş yapmaktadır. Şekil 3.20' de Marshall tokmağı gösterilmiştir. Tokmaktama işlemi sonunda kalıpların yüzeyindeki kağıtlar spatula yardımıyla alınarak oda sıcaklığında soğumaya bırakılır.

- Soğuma işleminin ardından numuneler tebeşir ile numaralandırılır ve numune çıkarıcı kriko yardımıyla kalıptan çıkarılır. Şekil 3.21' de numunelerin kriko ile kalıptan çıkarma işlemi, Şekil 3.22' de ise kalıptan çıkarılmış olan numuneler gösterilmiştir.
- Son olarak kalıptan çıkarılan numunelerin Marshall parametreleri hesaplanır.



Şekil 3.18. Marshall karışımının hazırlanması



Şekil 3.19. Karışımın kalıba yerleştirilmesi



Şekil 3.20. Marshall tokmağı



Şekil 3.21. Numunelerin kriko ile kalıptan çıkarılması



Şekil 3.22. Marshall numunelerinin kalıptan çıkarılmış hali

Marshall parametrelerinin hesabı

Hacim özgül ağırlığının hesaplanması

Kalıptan çıkarılan numunelerin üzerindeki yapışmamış olan agrega daneleri fırça yardımıyla temizlenir. Bunu yapmamızın amacı Arşimet deneyinde numunelerde oluşan kayba engel olmaktır. Ardından havadaki ağırlıkları, 25 °C sıcaklıktaki sudaki ağırlıkları bulunur. Sudaki ağırlıkları ölçülürken numuneler içerisindeki boşlukların su ile dolmasını sağlamak amacıyla numunelerin su içerisinde titreştirilmesi gerekir. Sonrasında sudan çıkarılan numunelerin yüzeyi su emici özelliğe sahip kuru bir havlu ile kurulanır ve tartılır. Bu şekilde doymuş kuru yüzey (DKY) ağırlığı belirlenir. Şekil 3.23' de Arşimet terazisindeki tartım işlemi gösterilmiştir. Arşimet deneyinin amacı numunelerin hacim özgül ağırlığını bulmak olarak diğer Marshall parametrelerini (V_h , VMA , V_f) hesaplamaktır. DKY ağırlığından sudaki ağırlığın çıkarılması ile hacim bulunur. Hacim değerinin havadaki ağırlık değerine oranı ile hacim özgül ağırlık değeri elde edilir (Aslan, 2015).



Şekil 3.23. Arşimet terazisinde Marshall numunesinin tartımı

Marshall akma-stabilite değerleri ve optimum bitüm miktarının hesaplanması

Marshall numunelerinin yüksekliği kumpas ile 3 farklı yerden ölçölür ve bu değerlerin ortalaması numunenin yüksekliği olarak kaydedilir. Stabilite değerleri yüksekliğe bağlı olarak değiştiği için numune yükseklikleri bu yüzden önemlidir. şekil 3.24' de numune yüksekliği ölçüm işlemi gösterilmiştir. Yüksekliği belirlenen numuneler 60°C' deki su banyosunda 30- 45 dakika arasında bekletilir. Numunelerin 60 °C' deki su banyosunda bekletilmesinin amacı, en olumsuz hava şartlarını sağlayabilmektir. Su banyosunda bekletilen numuneler şekil 3.25' de gösterilmiştir.



şekil 3.24. Kumpas ile numunenin ölçümü



şekil 3.25. Su banyosundaki Marshall numuneleri

Numuneler su banyosundan çıkarıldıktan sonra en geç 30 saniye içerisinde Marshall stabilite cihazına yerleştirilmeli ve eksenel yönde 50,8 mm/dk sabit hız ile yük uygulanmalıdır. Şekil 3.26' da Marshall stabilite cihazı gösterilmiştir. Cihaz, basınç uyguladıkça yük göstergesinde okunan değer artar ve maksimum değere ulaştıktan sonra düşmeye başlar. Numune bu anda kırılır. Göstergede okunan maksimum değer numunenin stabilite değerini verir. Bu değer numunenin kırılmasını sağlayan kilogram (kg) cinsinden yük miktarıdır. Numunenin ölçülen stabilite değerindeki deplasman (çökme) miktarı da akma değerini vermektedir (Umar ve Ağar, 1991).

Akma değeri, asfalt kaplamaların trafik yükleri altında gerçekleşen davranışlarını belirleyen ve asfalt betonlarının esneklik - plastiklik özelliklerini yansıtan bir değerdir. Marshall numunelerinin kırıldığı yüke karşılık gelen deformasyonunu temsil eden akma değeri, sıkışmış karışımların iç sürtünmesinin bir ölçüsüdür. Şartnamelerde verilen en yüksek akma değeri, karışımın plastikliğini ve kullanılabilir en yüksek bağlayıcı yüzdesini, en alt değer ise karışımın gevrekliğini ve dayanıklılığını kontrol eder (Umar ve Ağar, 1991).



Şekil 3.26. Marshall stabilite test cihazı

Elde edilen bu değerler ile her bir bitüm yüzdesinde numune yüksekliği, teorik özgül ağırlık (D_T), pratik yoğunluk (D_p), asfalt ile dolu boşluk (V_f), agregalar arası boşluk (VMA), hava boşluğu (V_h), numune yüksekliğine bağlı olarak düzeltilmiş olan stabilite ve akma değerleri hesaplanır. Son olarak bu değerler ile bitüm oranı grafikleri çizilir.

Bu grafikler çizildikten sonra optimum bitüm miktarı hesabına geçilir. Optimum bitüm değeri hesaplanırken deney sonuçlarından elde edilen hava boşluğu grafiği dikkate alınır. Şartnamede verilen hava boşluğu sınırlarının orta noktasındaki değere karşılık gelen bitüm miktarı optimum bitüm olarak alınır. Bulunan bitüm miktarına karşılık gelen diğer Marshall parametreleri grafikler yardımıyla bulunur. Bulunan değerler şartnamede verilen limitleri sağlıyorsa bu bitüm miktarı optimum bitüm olarak verilir. Çizelge 3.6' da binder tabakasının şartnamede verilen değerleri gösterilmiştir (Aslan, 2015; Orhan, 2012).

Ayrıca optimum bitüm değeri şu şekilde de hesaplanır; hacim özgül ağırlığın maksimum değerine karşılık gelen bitüm yüzdesi, stabilite değerinin maksimum olduğu noktadaki bitüm yüzdesi, %5 hava boşluğu (binder tabakası için şartnamede verilen %4-6 değerlerinin ortası) değerine karşılık gelen bitüm yüzdesi ve %67.5 asfalt ile dolu boşluk oranı (binder tabakası için şartnamede verilen %60-75 değerlerinin ortası) değerine karşılık gelen bitüm yüzdesi değerlerinin ortalaması optimum bitüm değerinin verir. Daha sonra bu değer grafiklerde yerine konularak şartname limitlerinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir (Umar ve Açar, 1991).

Çizelge 3.6. Binder tabakası şartname değerleri (KTŞ 2013)

Özellikler	Şartname Limitleri
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	75
Marshall Stabilitesi (kg), min	750
Hava Boşluğu (%)	4-6
Agregalar Arası Boşluk (VMA), (%)	13-15
Asfaltla Dolu Boşluk (%)	60-75
Akma (mm)	2-4
Bitüm Miktarı (%)	3.5-6.5

4. BULGULAR

Çalışma kapsamında yapılan deneylerde halihazırda yol inşaatında kullanılan kalker kökenli agrega malzemesi ile birlikte atık mermer ve kentsel dönüşüm beton atıkları kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, atık mermer ve kentsel dönüşüm atıklarının, bitümlü sıcak karışımların binder tabakasında kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bunun için ilk aşamada doğal, atık mermer ile oluşturulan ve kentsel dönüşüm beton atıklarından elde edilen agregalara standart agrega deneyleri uygulanmış ve sonuçlar şartname limitleri ile karşılaştırılmıştır. İkinci aşamada bitüm için standart bağlayıcı deneyleri yapılmıştır. Üçüncü aşamada 6 farklı agrega karışım grubu oluşturulmuştur. Dördüncü aşamada ise her bir agrega grubu 7 farklı bitüm oranı (%3.5, %4, %4.5, %5, %5.5, %6, %6.5) ile karıştırılarak Marshall numuneleri üretilmiştir. Marshall numuneleri hazırlanırken her bir bitüm oranında 3 adet numune hazırlanmıştır. 7 farklı bitüm oranı olduğu için her bir agrega karışım grubunda toplamda 21 adet Marshall numunesi hazırlanmıştır. Deneyler kapsamında toplamda 126 adet Marshall numunesi hazırlanmıştır. Son olarak hazırlanan numunelerin optimum bitüm miktarı ve diğer Marshall parametreleri tespit edilmiştir.

4.1. Agrega Deneyleri

4.1.1. Elek analizi

Agrega danelerinin elek analizi binder tabakasına göre hazırlanmıştır. En büyük agrega dane boyutu KTŞ 2013'e göre 25 mm olarak alınmıştır. Çizelge 4.1'de doğal agregalar için yapılmış olan elek analizinin sonucu verilmiştir. Elek analizinin sonucuna göre Şekil 4.1'de verilen agrega gradasyon grafiği çizilmiştir. Agrega karışımları 1150 gram olacak şekilde doğal agrega, mermer agregası ve kentsel dönüşüm beton atığının belirli oranlarda karışımı ile hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan üç farklı agrega çeşidi ile 6 farklı agrega karışım grubu oluşturulmuştur. Bu gruplar şu şekilde oluşturulmuştur:

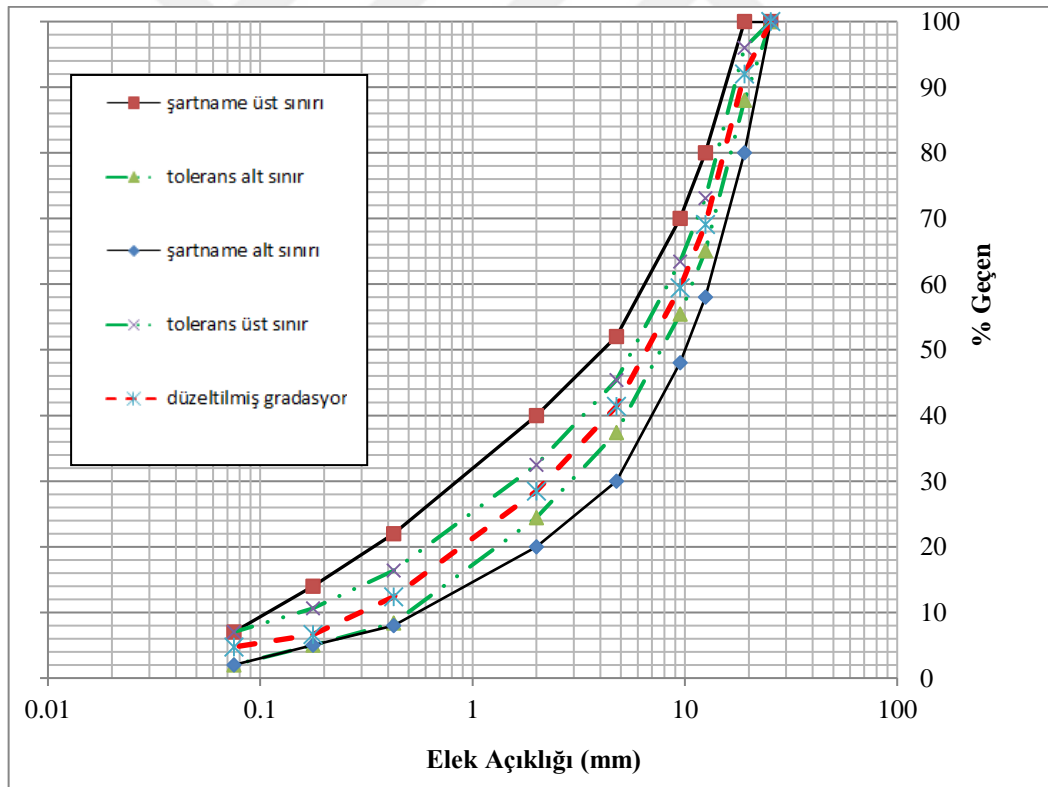
- Tüm agrega karışım gruplarında filler malzemesi sabit tutulmuş ve doğal filler agregası kullanılmıştır.

- 1 No' lu (D-D-D) grup kontrol (şahit) numunesi olduğu için burada kullanılan agregaların tamamı doğal agrega ile oluşturulmuştur.
- 2 No' lu (M-D-D) grupta kaba agreganın tamamı mermer agregası olarak kullanılırken, ince agreganın tamamı doğal agregadan elde edilmiştir.
- 3 No' lu (M-D5K5-D) grupta kaba agreganın tamamı mermer agregası olarak kullanılırken, ince agreganın %50' si doğal agregadan, %50' si kentsel dönüşüm beton atıklarından elde edilmiştir.
- 4 No' lu (D-D5K5-D) grupta kaba agregalar doğal agregadan oluşurken, ince agreganın %50' si doğal agregadan, %50' si kentsel dönüşüm beton atıklarından elde edilmiştir.
- 5 No' lu (M-D7.5K2.5-D) grupta kaba agreganın tamamı mermer agregası olarak kullanılırken, ince agreganın %75' i doğal agregadan, %25' i kentsel dönüşüm beton atıklarından elde edilmiştir.
- 6 No' lu (D-D7.5K2.5-D) grupta kaba agregalar doğal agregadan oluşurken, ince agreganın %75' i doğal agregadan, %25' i kentsel dönüşüm beton atıklarından elde edilmiştir.

Oluşturulan 6 farklı agrega karışım grubunun oranları Çizelge 4.2' de gösterildiği gibidir. Karışım grupları oluşturulmadan önce atık mermer agregaları için Los Angeles deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda atık mermer agregası ile doğal agreganın Los Angeles aşınma kaybı değerinin birbirine yakın çıktığı tespit edilmiştir. Bu sonuca göre mermer agregalarının kaba agrega olarak kullanılacağı, kentsel dönüşüm beton atıklarının ise ince agrega olarak kullanılacağı kararlaştırılmıştır. Elek analizi sonuçlarına göre her bir karışım grubunda, hangi tip agregadan hangi miktarda kullanıldığı Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Doğal agrega elek analizi sonuçları

Elek Boyutu (mm)	Gradasyon Sınırları (%)	Tolerans Limitleri (%)	Karışım Gradasyonu (%)
25.4	100-100	100 - 100	100
19.1	80-100	88 - 96	92.0
12.5	58-80	65.1 – 73.1	69.1
9.5	48-70	55.4 – 63.4	59.4
4.75	30-52	37.4 – 45.4	41.4
2.00	20-40	24.4 – 32.4	28.4
0.425	8-22	8.4 – 16.4	12.4
0.177	5-14	5 – 10.6	6.6
0.075	2-7	2 - 7	4.7
Filler	-	-	-



Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan agrega gradasyonu

Çizelge 4.2. Deneysel çalışmada kullanılan agrega grupları ve malzeme oranları

Dane Boyutu Grup No	Kaba	İnce	Filler
1 (D-D-D)	% 100 Doğal	% 100 Doğal	% 100 Doğal
2 (M-D-D)	% 100 Mermer	% 100 Doğal	% 100 Doğal
3 (M-D5K5-D)	% 100 Mermer	%50 Doğal / %50 Kentsel Dön. Atığı	% 100 Doğal
4 (D-D5K5-D)	% 100 Doğal	%50 Doğal / %50 Kentsel Dön. Atığı	% 100 Doğal
5 (M-D7.5K2.5-D)	% 100 Mermer	%75 Doğal / %25 Kentsel Dön. Atığı	% 100 Doğal
6 (D-D7.5K2.5-D)	% 100 Doğal	%75 Doğal / %25 Kentsel Dön. Atığı	% 100 Doğal

Çizelge 4.3. 1 No' lu (D-D-D) grup için deneylerde kullanılan agrega miktarları

Elek Çapı (mm)	Elek Üstü Kalan Malzeme Miktarı (g)
19	92
12.5	263.4
9.5	111.6
4.75	207
2.00	149.5
0.425	184
0.180	66.5
0.075	21.9
< 0.075	54.1

Çizelge 4.4. 2 No' lu (M-D-D) grup için deneylerde kullanılan agrega miktarları

Elek Çapı (mm)	Elek Üstü Kalan Malzeme Miktarı (g)	
	Doğal Agrega	Mermer Agregası
19	-	92
12.5	-	263.4
9.5	-	111.6
4.75	-	207
2.00	149.5	-
0.425	184	-
0.180	66.5	-
0.075	21.9	-
< 0.075	54.1	-
TOPLAM	1150 gram	

Çizelge 4.5. 3 No' lu (M-D5K5-D) grup için deneylerde kullanılan agrega miktarları

Elek Çapı (mm)	Elek Üstü Kalan Malzeme Miktarı (g)		
	Doğal Agrega	Mermer Agregası	Kentsel Dön. Beton Atığı
19	-	92	-
12.5	-	263.4	-
9.5	-	111.6	-
4.75	-	207	-
2.00	74.75	-	74.75
0.425	92	-	92
0.180	33.25	-	33.25
0.075	10.95	-	10.95
< 0.075	54.1	-	-
TOPLAM	1150 gram		

Çizelge 4.6. 4 No' lu (D-D5K5-D) grup için deneylerde kullanılan agrega miktarları

Elek Çapı (mm)	Elek Üstü Kalan Malzeme Miktarı (g)	
	Doğal Agregası	Kentsel Dön. Beton Atığı
19	92	-
12.5	263.4	-
9.5	111.6	-
4.75	207	-
2.00	74.75	74.75
0.425	92	92
0.180	33.25	33.25
0.075	10.95	10.95
< 0.075	54.1	-
TOPLAM	1150 gram	

Çizelge 4.7. 5 No' lu (M-D7.5K2.5-D) grup için deneylerde kullanılan agrega miktarları

Elek Çapı (mm)	Elek Üstü Kalan Malzeme Miktarı (g)		
	Doğal Agregası	Mermer Agregası	Kentsel Dön. Beton Atığı
19	-	92	-
12.5	-	263.4	-
9.5	-	111.6	-
4.75	-	207	-
2.00	112.1	-	37.4
0.425	138	-	46
0.180	49.9	-	16.6
0.075	16.4	-	5.5
< 0.075	54.1	-	-
TOPLAM	1150 gram		

Çizelge 4.8. 6 No' lu (D-D7.5K2.5-D) grup için deneylerde kullanılan agrega miktarları

Elek Çapı (mm)	Elek Üstü Kalan Malzeme Miktarı (g)	
	Doğal Agrega	Kentsel Dön. Beton Atığı
19	92	-
12.5	263.4	-
9.5	111.6	-
4.75	207	-
2.00	112.1	37.4
0.425	138	46
0.180	49.9	16.6
0.075	16.4	5.5
< 0.075	54.1	-
TOPLAM	1150 gram	

4.1.2. Los Angeles deneyi

Doğal agrega ve atık mermer agregası için TS EN 1097-2 standardına uygun olarak yapılan Los Angeles aşınma deneyinin sonucu Çizelge 4.9' da verildiği gibidir.

Çizelge 4.9. Los Angeles aşınma deneyi sonucu

İşlem	Malzeme Miktarı, g	
	Doğal Agrega	Mermer Agregası
İlk baştaki malzeme miktarı (M ₁)	5000	5000
500 devir sonunda 1.6 mm elek üstünde kalan malzeme miktarı (M ₂)	3967.6	3961.1

Los Angeles aşınma yüzdesi aşağıdaki formül ile hesaplanır.

LA= Los Angeles Katsayısı (%)

$$\text{Doğal Agrega İçin LA} = \frac{5000-3967,6}{5000} \times 100 = \% 20.65$$

$$\text{Mermer Agregası İçin LA} = \frac{5000-3961,1}{5000} \times 100 = \% 20.78$$

KTŞ 2013' de binder tabakası için Los Angeles değerinin % 30' dan küçük olması istenmektedir. Bulunan sonuçlar incelendiğinde; doğal agrega ve atık mermer agregasının şartname limit değerini sağladığı görülmektedir.

4.1.3. Yassılık indeksi deneyi

Bu deney kaba agrega için doğal ve mermer atıklarından elde edilen agrega gruplarına uygulanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11' de gösterilmiştir. Çizelge 4.12' de ise sonuçlar şartname limitleri ile kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.10. Doğal agrega için yassılık indeksi deney sonucu

Elek Açıklığı (mm)	Deneye Alınan Numune (g)	Deney Eleğinden Geçen (g)	Numunenin Yassı Yüzdesi (%)		Elekler (mm)	Karşım Gradasyonu	Elek Aralari Yüzde Kalan (%)	Düzeltilmiş Grad. Göre Kalan	Düzeltilmiş Yassı Dane Yüzdesi (%)
					25.0	100			
25-19	2500	402	16.1		19.0	92	8	19.7	3.17
19-12.5	1000	196	29.7		12.5	69.1	22.9	56.4	11.1
12.5-9.5	500	70	15.2		9.5	59.4	9.7	23.9	3.35
Toplam	4000						40.6	Sonuç	17.62

Çizelge 4.11. Atık Mermer agregası için yassılık indeksi deney sonucu

Elek Açıklığı (mm)	Deneye Alınan Numune (g)	Deney Eleğinden Geçen (g)	Numunenin Yassı Yüzdesi (%)		Elekler (mm)	Karşım Gradasyonu	Elek Aralari Yüzde Kalan (%)	Düzeltilmiş Grad. Göre Kalan	Düzeltilmiş Yassı Dane Yüzdesi (%)
					25.0	100			
25-19	2500	628	25.1		19.0	90	10	23.8	5.97
19-12.5	1000	230	23		12.5	67.9	22.1	52.4	12.05
12.5-9.5	500	106	21.2		9.5	57.9	10	23.8	5.05
Toplam	4000						42.1	Sonuç	23.07

Çizelge 4.12. Yassılık indeksi deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Şartname Limiti	Malzeme	Deney Sonucu	Sonuç
≤ 30 (BS 812)	Doğal	17.62	Uygundur
	Mermer	23.07	Uygundur

Sonuçlar incelendiğinde doğal agrega ve atık mermer agregasının yassılık indeksi değerlerinin, KTŞ 2013’ de binder tabakası için verilen sınır değeri aşmadığı, standarda uygun olduğu tespit edilmiştir.

4.1.4. Soyulma deneyi

Şekil 4.2’ de doğal ve atık mermer agregaları için yapılmış olan soyulma deneyi gösterilmiştir. Soyulma mukavemeti agregaların yüzeylerinin ne kadarının bitümlle kaplı olduğunu ifade etmektedir. Bu değer göz kararı ile belirlenerek en yakın %5 değerine yuvarlanır. KTŞ 2013’ de binder tabakası için bu değer minimum %60 olarak verilmiştir. Çizelge 4.13’ de soyulma deneyinin sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Soyulma deneyi

Çizelge 4.13. Soyulma deneyinin sonucu

Şartname Limiti	Malzeme	Deney Sonucu	Sonuç
≥ %60	Doğal	80-90	Uygundur
	Mermer	75-80	Uygundur

4.1.5. Birim hacim ağırlık (BHA) deneyi

Sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlık deneylerinin sonuçları Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16' da gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde su emme oranı diğerlerinden yüksek olan kentsel dönüşüm beton atıklarının birim hacim ağırlığının diğerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.14. Doğal agregası sıkışık ve gevşek BHA deneyi sonuçları

Malzeme (mm)	Gevşek BHA (g/cm ³)	Sıkışık BHA (g/cm ³)
0-5	1.694	1.859
5-12	1.440	1.579
12-19	1.376	1.528
19-25	1.367	1.523

Çizelge 4.15. Mermer agregası sıkışık ve gevşek BHA deneyi sonuçları

Malzeme (mm)	Gevşek BHA (g/cm ³)	Sıkışık BHA (g/cm ³)
0-5	1.612	1.845
5-12	1.327	1.462
12-19	1.337	1.494
19-25	1.328	1.483

Çizelge 4.16. Kentsel dönüşüm beton atığının sıkışık ve gevşek BHA deneyi sonucu

Malzeme (mm)	Gevşek BHA (g/cm ³)	Sıkışık BHA (g/cm ³)
0-5	1.415	1.547

4.1.6. Özgül ağırlık ve su emme deneyi

Çalışmada kullanılan agregalara ait özgül ağırlık ve su emme deneylerinin sonuçları Çizelge 4.17, Çizelge 4.18, Çizelge 4.19, Çizelge 4.20 ve Çizelge 4.21' de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Doğal agrega için kaba agrega özgül ağırlık ve su emme deney sonucu

	Numune 1	Numune 2	
Kuru Ağırlık (g)	2983.2	2987.4	
Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı (g)	2995.7	3001.5	
Sudaki Ağırlık (g)	1883.2	1887.5	Ortalama
Hacim Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2.68	2.68	2.68
Zahiri Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2.712	2.716	2.714
Su Emmesi (%)	0.42	0.47	0.45

Çizelge 4.18. Doğal agrega için ince agrega özgül ağırlık ve su emme deney sonucu

	Numune 1	Numune 2	
Piknometre Ağırlığı (A)	281.2	283.2	
Piknometre + Su (B)	1246.1	1253.6	
Piknometre + DKY (C)	781.2	783.2	
Piknometre + DKY + Su (D)	1561.1	1568.6	
Etüv Kuru (E)	496.5	496.8	Ortalama
Zahiri Özgül Ağırlık	2.735	2.733	2.734
Hacim Özgül Ağırlık	2.683	2.685	2.684
Su Emmesi (%)	0.705	0.644	0.67

Çizelge 4.19. Doğal agrega filler özgül ağırlığı deney sonucu

	Numune 1	Numune 2	
Piknometre Ağırlığı (A)	173.79	173.74	
Piknometre + Su (B)	671.18	671.20	
Piknometre + Numune (C)	291.53	289.28	
Piknometre + Numune + Su (D)	745.72	744.29	
Etüv Kuru (E)	117.74	115.54	Ortalama
Zahiri Özgül Ağırlık	2.725	2.722	2.724

Çizelge 4.20. Atık mermer agregaları için kaba agrega özgül ağırlık ve su emme deney sonucu

	Numune 1	Numune 2	
Kuru ağırlık (g)	1997.8	1995.2	
Doygun kuru yüzey ağırlığı (g)	2002.6	2002.2	
Sudaki ağırlık (g)	1260.7	1258.9	Ortalama
Hacim özgül ağırlık (g/cm ³)	2.693	2.684	2.689
Zahiri özgül ağırlık (g/cm ³)	2.710	2.709	2.710
Su emmesi (%)	0.24	0.35	0.30

Çizelge 4.21. Kentsel dönüşüm beton atığı için ince agrega özgül ağırlık ve su emme deney sonucu

	Numune 1	Numune 2	
Piknometre Ağırlığı (A)	281.2	288.2	
Piknometre + Su (B)	1321.1	1281.7	
Piknometre + DKY (C)	781	788.5	
Piknometre + DKY + Su (D)	1614.8	1575	
Etüv Kuru (E)	469.5	466.8	Ortalama
Zahiri Özgül Ağırlık	2.671	2.69	2.681
Hacim Özgül Ağırlık	2.278	2.260	2.269
Su Emmesi (%)	6.45	7.18	6.82

4.2. Bitüm Deneyleri

Deneyssel çalışmada kullanılan 50/70 penetrasyonlu bitümün fiziksel özellikleri yapılan deneyler sonucunda Çizelge 4.22' deki gibi bulunmuştur.

Çizelge 4.22. Bitümlü malzemenin deney sonuçları

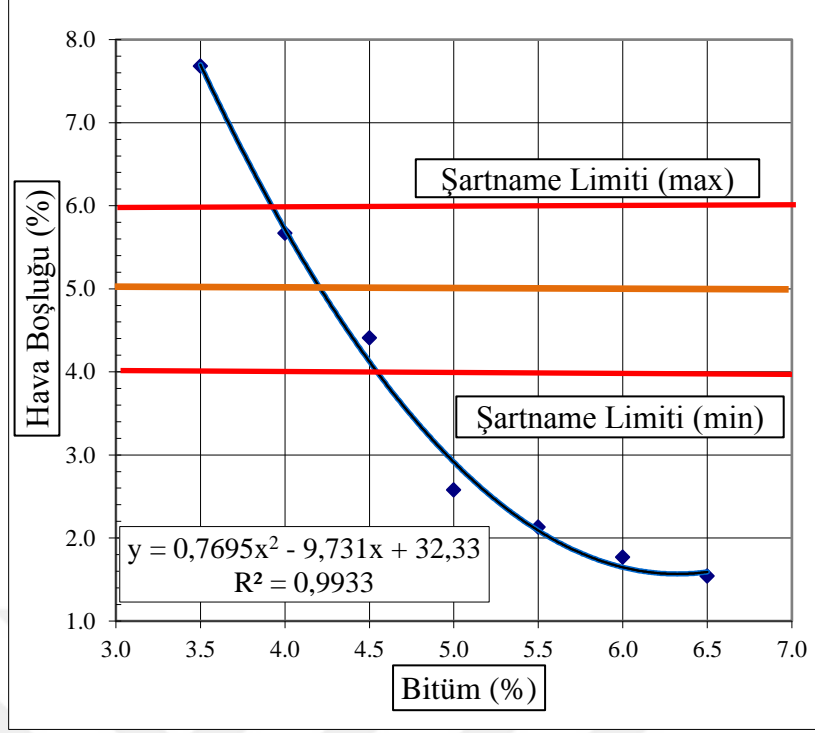
Deney	Deney Sonucu	İlgili Standart	İstenilen Sınırlar
Penetrasyon (25°C, 1/10mm)	58	TS EN 1426	50-70
Yumuşama noktası (°C)	50	TS EN 1427	46-54
Özgül ağırlık (g/cm ³)	1.036	TS EN 15326	-

4.3. Marshall Stabilite ve Akma Deneyleri

Marshall cihazı ile ölçülen stabilite değerleri, numune ölçülerine göre düzenlenmiş olan Marshall düzeltme katsayıları ile çarpılıp yeni stabilite değerleri hesaplanmıştır. 6 farklı numune grubu (1, 2, 3, 4, 5, 6 No' lu numune grupları) için 7 farklı bitüm oranı (%3.5-%6.5) ile hazırlanan 126 adet numunenin Marshall parametreleri hesaplanmıştır. Bu parametreler pratik özgül ağırlık (D_p), Marshall stabilitesi (MS), boşluk oranı (V_h), asfaltla dolu boşluk oranı (V_f), akma ve toplam boşluk yüzdesi (VMA) değerleridir. Sonuçlar EK-1, EK-2, EK-3, EK-4, EK-5 ve EK-6' da gösterilmiştir.

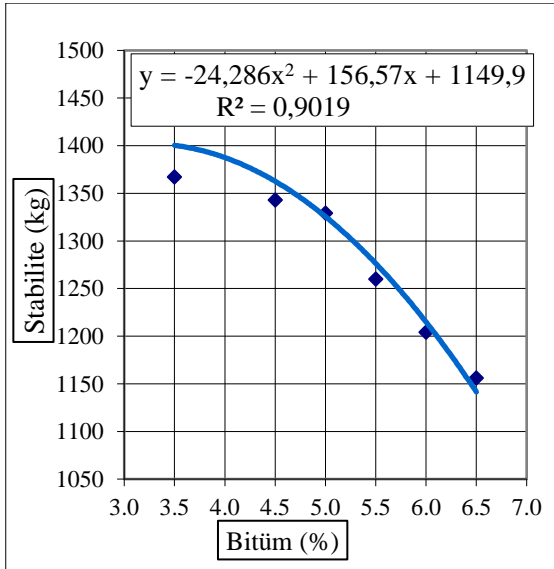
4.3.1. (1) No' lu (D-D-D) grup Marshall dizayn sonucu

Burada doğal agrega ve 50/70 penetrasyonlu bitüm ile karışımlar hazırlanmıştır. Marshall numunelerine ait sonuçlar Ek-1' de verilen deney formunda gösterilmiştir. Bu sonuçlar yardımıyla bitüm oranına bağlı olarak pratik özgül ağırlık (D_p), Marshall stabilitesi (MS), boşluk oranı (V_h), asfaltla dolu boşluk oranı (V_f), akma ve toplam boşluk yüzdesi (VMA) grafikleri; Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8' de gösterildiği gibi çizilmiştir. Bu grafikler yardımıyla her bir grup için optimum bitüm oranları tespit edilmiş ve şartname limitlerini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir.

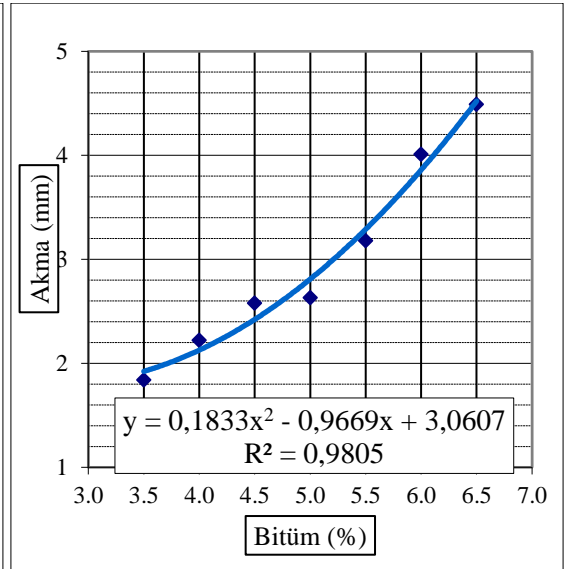


Şekil 4.3. (1) No' lu (D-D-D) grup hava boşluğu grafiği

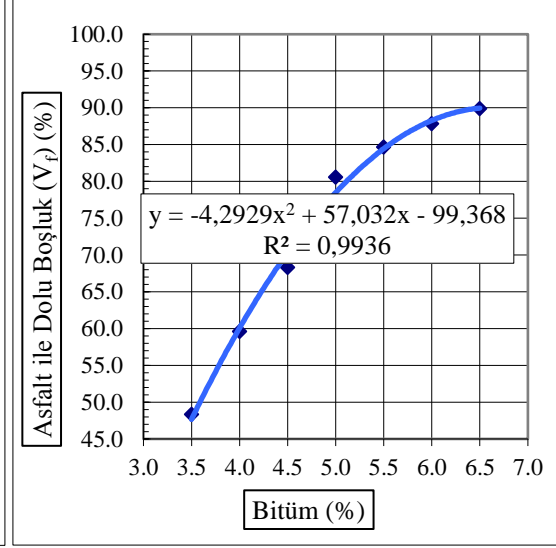
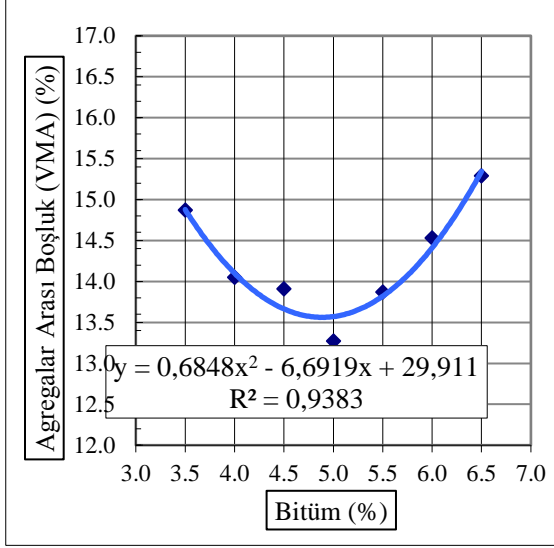
Optimum bitüm oranı tespit edilirken genelde boşluk değeri dikkate alınır. Buna göre binder tabakası dizaynı için Şekil 4.3' de %5 boşluk değerine karşılık gelen % 4.20 değeri optimum bitüm oranı olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.4. (1) No' lu grup stabilite grafiği

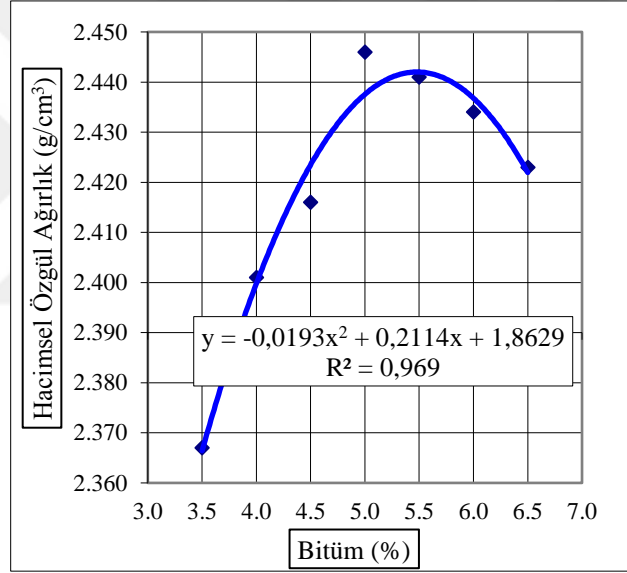


Şekil 4.5. (1) No' lu grup akma grafiği



Şekil 4.6. (1) No' lu grup VMA grafiği

Şekil 4.7. (1) No' lu grup Vf grafiği



Şekil 4.8. (1) No' lu (D-D-D) grup hacimsel özgül ağırlık grafiği

Şekil 4.3' de %5 boşluk değerine karşılık gelen % 4.2 optimum bitüm oranı için stabilite, akma, agregalar arası boşluk, asfalt ile dolu boşluk ve hacimsel özgül ağırlık değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Şekil 4.4. 1 No' lu (D-D-D) grup stabilite grafiği denklemi:

$$y = -24,286x^2 + 156,57x + 1149,9$$

$$x = 4.2 \text{ için } y = 1379 \text{ kg}$$

Şekil 4.5. 1 No' lu (D-D-D) grup akma grafiği denklemi:

$$y = 0.1833x^2 - 0,9669x + 3,0607$$

$$x= 4.2 \text{ için } y = 2.23 \text{ mm}$$

Şekil 4.6. 1 No' lu (D-D-D) grup agregalar arası boşluk grafiği denklemi:

$$y = 0.6848x^2 - 6,6919x + 29,911$$

$$x= 4.2 \text{ için } y= 13.885$$

Şekil 4.7. 1 No' lu (D-D-D) grup asfalt ile dolu boşluk grafiği denklemi:

$$y = -4,2929x^2 + 57,032x - 99,368$$

$$x= 4.2 \text{ için } y= 64.44$$

Şekil 4.8. 1 No' lu (D-D-D) Grup Hacimsel Özgül Ağırlık Grafiği denklemi:

$$y = -0,0193x^2 + 0,2114x + 1,8629$$

$$x= 4.2 \text{ için } y= 2.410 \text{ g/cm}^3$$

Deney sonuçlarından elde edilen veriler Çizelge 4.23' de gösterildiği gibidir.

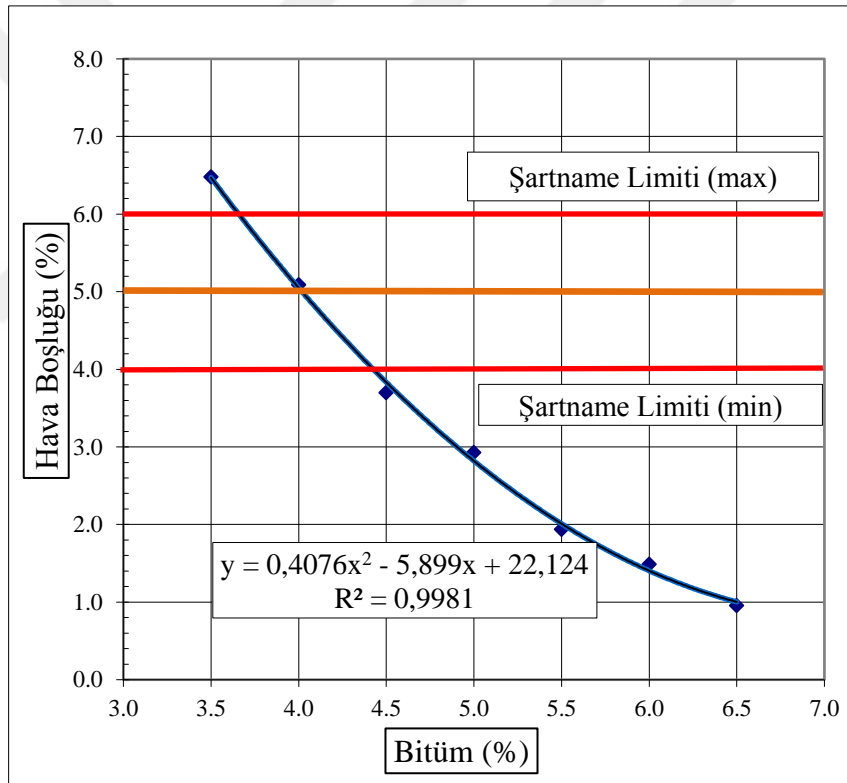
Çizelge 4.23. (1) No' lu (D-D-D) grubun Marshall parametrelerinin KTS' ye uygunluğu

	Deney Sonucu	Binder Tabakası		Sonuç
		min	max	
Stabilite, kg	1379	750	-	Uygun
Akma, mm	2.23	2	4	Uygun
Hava Boşlukları, %	5	4	6	Uygun
Asf. Dolu Boşluk, %	64.44	60	75	Uygun
Agregalar Arası Boşluk (VMA) %	13.885	13	15	Uygun
Hacimsel özgül ağırlık, g/cm ³	2.410	-	-	-
Optimum Bitüm, %	4.20	3.5	6.5	Uygun

Elde edilen sonuçlara bakıldığında % 4.2 optimum bitüm oranının şartname limitlerini sağladığı görülmüştür.

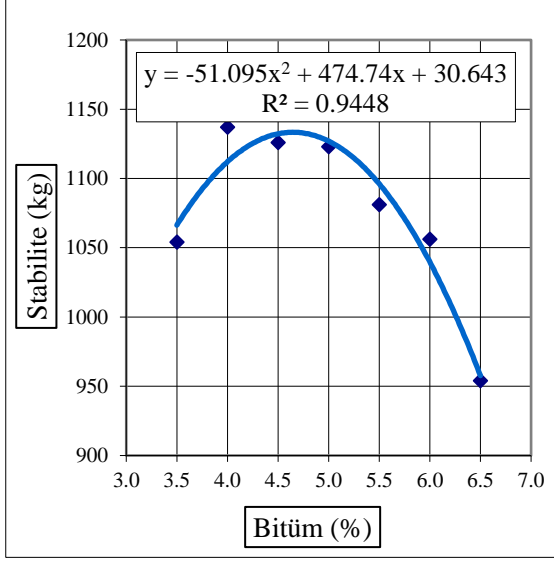
4.3.2. (2) No' lu (M-D-D) grup marshall dizayn sonucu

Bu grupta kaba agreganın tamamı mermer agregasından alınırken ince ve filler malzemesi doğal agregadan alınmıştır. Bu şekilde oluşturulan agregası karışımı, 50/70 penetrasyonlu bitüm ile karıştırılmış ve Marshall numuneleri oluşturulmuştur. Marshall numunelerine ait sonuçlar Ek-2' de verilen deney formunda gösterilmiştir. Bu sonuçlar yardımıyla bitüm oranına bağlı olarak pratik özgül ağırlık (D_p), Marshall stabilitesi (MS), boşluk oranı (V_h), asfaltla dolu boşluk oranı (V_f), akma ve toplam boşluk yüzdesi (VMA) grafikleri; Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14' de gösterildiği gibi çizilmiştir. Bu grafikler yardımıyla her bir grup için optimum bitüm oranları tespit edilmiş ve şartname limitlerini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir.

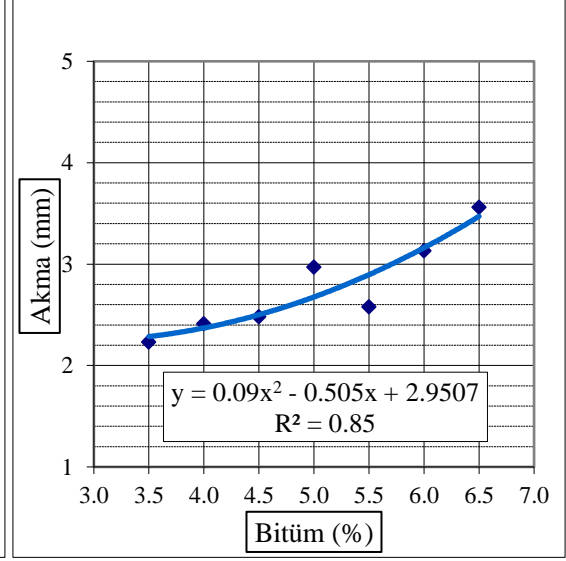


Şekil 4.9. (2) No' lu (M-D-D) grup hava boşluğu grafiği

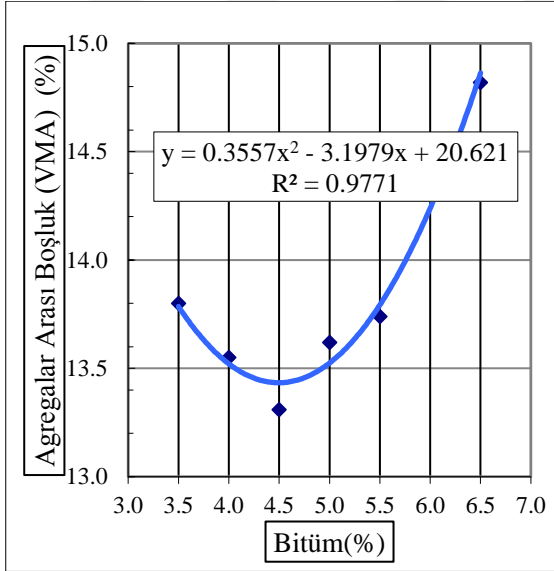
Optimum bitüm oranı tespit edilirken genelde boşluk değeri dikkate alınır. Buna göre binder tabakası dizaynı için Şekil 4.9' da %5 boşluk değerine karşılık gelen % 4.02 değeri optimum bitüm oranı olarak belirlenmiştir.



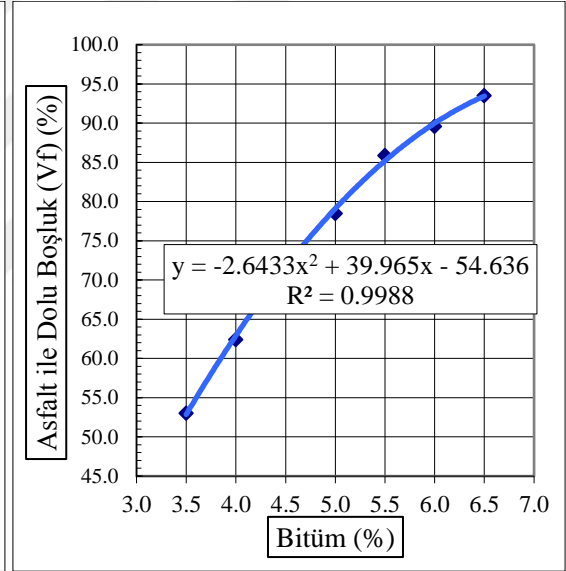
Şekil 4.10. (2) No' lu grup stabilite grafiği



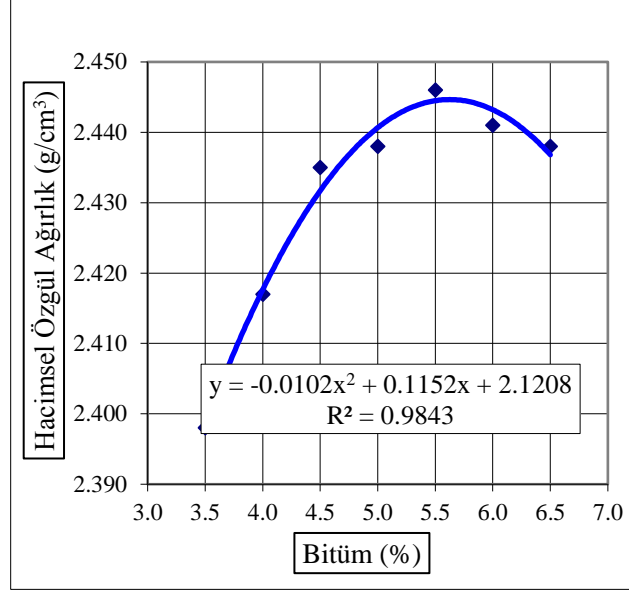
Şekil 4.11. (2) No' lu grup akma grafiği



Şekil 4.12. (2) No' lu grup VMA grafiği



Şekil 4.13. (2) No' lu grup Vf grafiği



Şekil 4.14. (2) No' lu (M-D-D) grup hacimsel özgül ağırlık grafiği

Şekil 4.9' da %5 boşluk değerine karşılık gelen % 4.02 optimum bitüm oranı için stabilite, akma, agregalar arası boşluk, asfalt ile dolu boşluk ve hacimsel özgül ağırlık değerleri Bölüm 4.3.1' deki gibi hesaplanmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen veriler Çizelge 4.24' de görüldüğü gibidir.

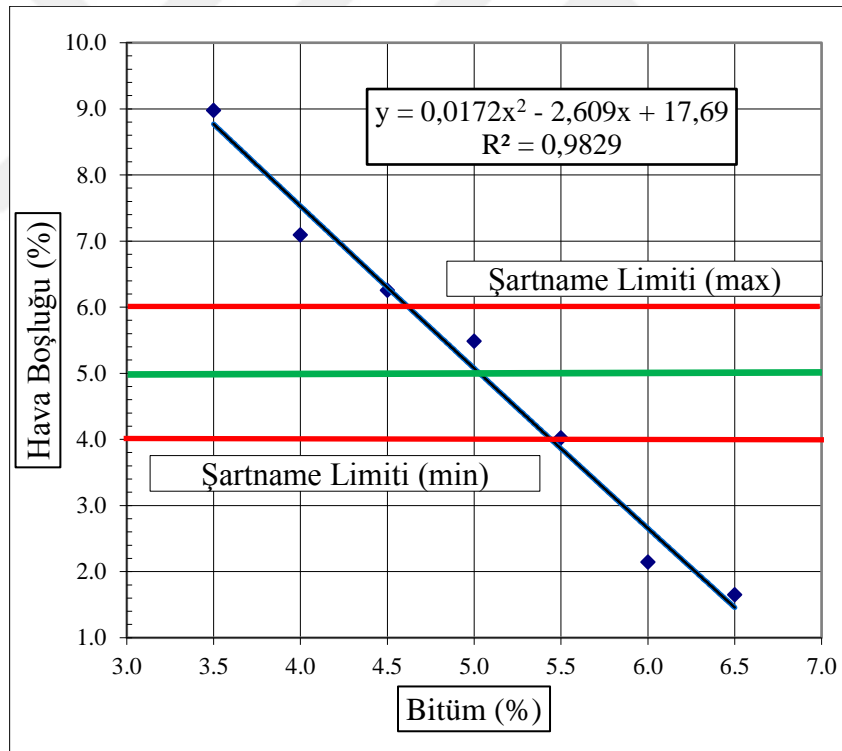
Çizelge 4.24. (2) No' lu (M-D-D) grubun Marshall parametrelerinin KTŞ' ye uygunluğu

	Deney Sonucu	Binder Tabakası		Sonuç
		Min	max	
Stabilite, kg	1113	750	-	Uygun
Akma, mm	2.38	2	4	Uygun
Hava Boşlukları, %	5	4	6	Uygun
Asf. Dolu Boşluk,%	63.31	60	75	Uygun
Agregalar Arası Boşluk (VMA) %	13.51	13	15	Uygun
Hacimsel özgül ağırlık, g/cm ³	2.419	-	-	-
Optimum Bitüm, %	4.02	3.5	6.5	Uygun

Elde edilen sonuçlara bakıldığında % 4.02 optimum bitüm oranının şartname limitlerini sağladığı görülmüştür.

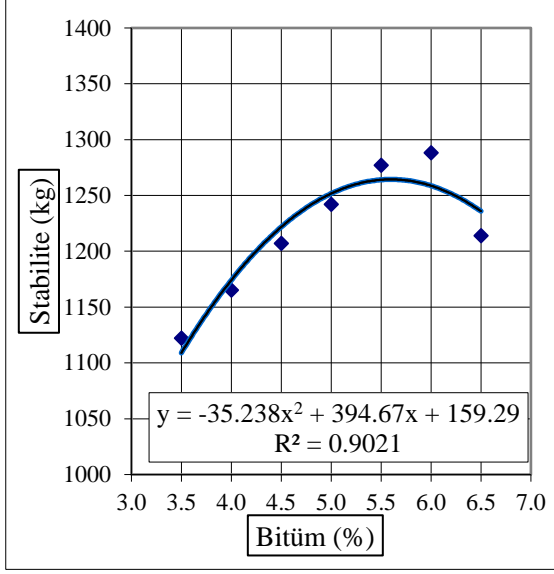
4.3.3. (3) No' lu (M-D5K5-D) grup marshall dizayn sonucu

Bu grupta kaba agreganın tamamı mermer agregasından alınırken ince agreganın %50' si doğal agregadan, %50' si kentsel dönüşüm beton atıklarından elde edilen malzemeden alınmıştır. Filler malzemesinin tamamı ise doğal agregadan alınmıştır. Bu şekilde oluşturulan agrega karışımı, 50/70 penetrasyonlu bitüm ile karıştırılmış ve Marshall numuneleri oluşturulmuştur. Marshall numunelerine ait sonuçlar Ek-3' de verilen deney formunda gösterilmiştir. Bu sonuçlar yardımıyla bitüm oranına bağlı olarak pratik özgül ağırlık (D_p), Marshall stabilitesi (MS), boşluk oranı (V_h), asfaltla dolu boşluk oranı (V_f), akma ve toplam boşluk yüzdesi (VMA) grafikleri; Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20' de gösterildiği gibi çizilmiştir. Bu grafikler yardımıyla her bir grup için optimum bitüm oranları tespit edilmiş ve şartname limitlerini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir.

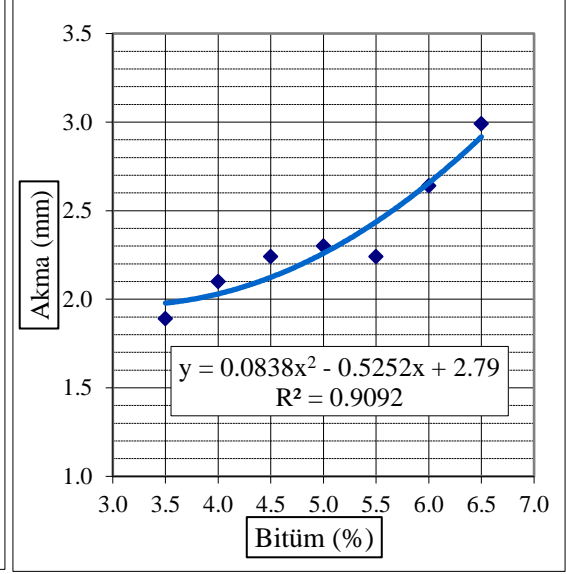


Şekil 4.15. (3) No' lu (M-D5K5-D) grup hava boşluğu grafiği

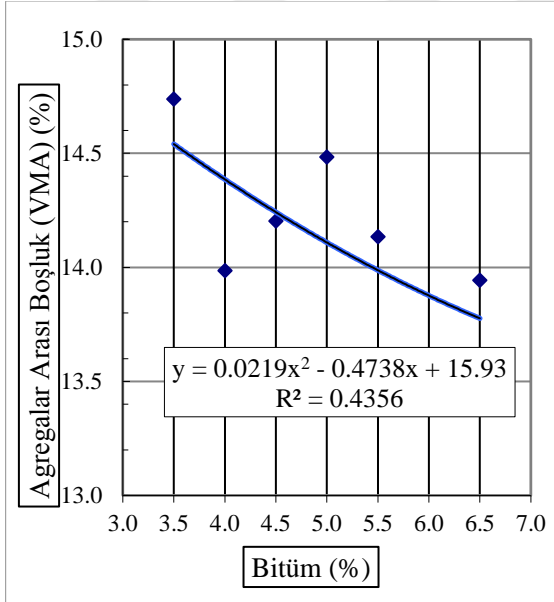
Optimum bitüm oranı tespit edilirken genelde boşluk değeri dikkate alınır. Buna göre binder tabakası dizaynı için Şekil 4.15' de %5 boşluk değerine karşılık gelen % 5.03 değeri optimum bitüm oranı olarak belirlenmiştir.



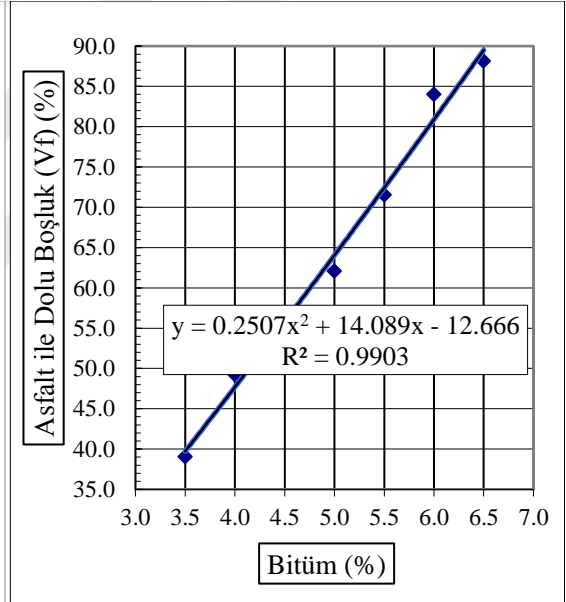
Şekil 4.16. (3) No' lu grup stabilite grafiği



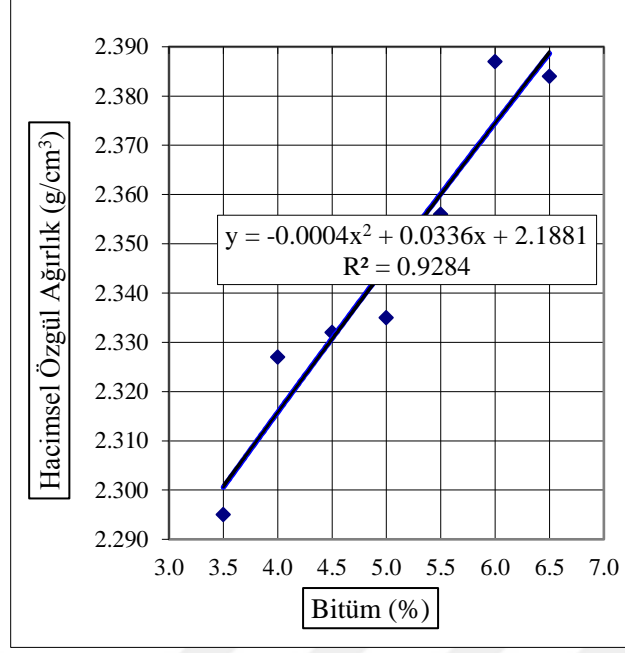
Şekil 4.17. (3) No' lu grup akma grafiği



Şekil 4.18. (3) No' lu grup VMA grafiği



Şekil 4.19. (3) No' lu grup Vf grafiği



Şekil 4.20. (3) No' lu (M-D5K5-D) grup hacimsel özgül ağırlık grafiği

Şekil 4.20' de %5 boşluk değerine karşılık gelen % 5.03 optimum bitüm oranı için stabilite, akma, agregalar arası boşluk, asfalt ile dolu boşluk ve hacimsel özgül ağırlık değerleri Bölüm 4.3.1' deki gibi hesaplanmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen veriler Çizelge 4.25' de görüldüğü gibidir.

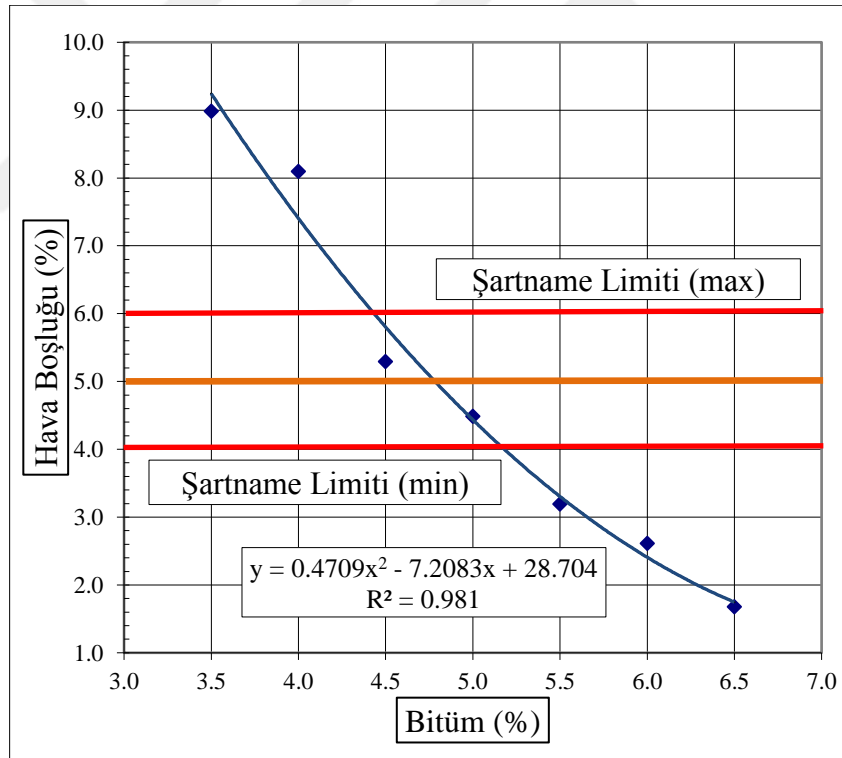
Çizelge 4.25. (3) No' lu (M-D5K5-D) grubun Marshall parametrelerinin KTŞ' ye uygunluğu

	Deney Sonucu	Binder Tabakası		Sonuç
		min	max	
Stabilite, kg	1253	750	-	Uygun
Akma, mm	2.27	2	4	Uygun
Hava Boşlukları, %	5	4	6	Uygun
Asf. Dolu Boşluk (V_f), %	64.54	60	75	Uygun
Agregalar Arası Boşluk (VMA) %	14.1	13	15	Uygun
Hacimsel özgül ağırlık, g/cm ³	2.347	-	-	-
Optimum Bitüm, %	5.03	3.5	6.5	Uygun

Elde edilen sonuçlara bakıldığında % 5.03 optimum bitüm oranının şartname limitlerini sağladığı görülmüştür.

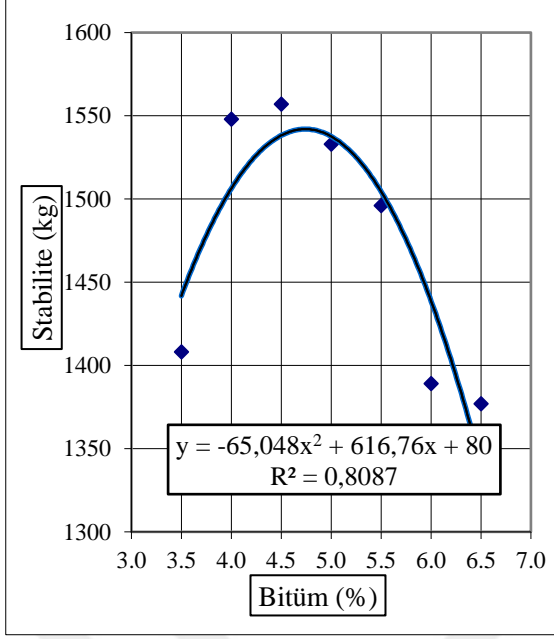
4.3.4. (4) No' lu (D-D5K5-D) grup marshall dizayn sonucu

Bu grupta kaba agreganın tamamı doğal agregadan alınırken ince agreganın %50' si doğal agregadan, %50' si kentsel dönüşüm beton atıklarından elde edilen malzemeden alınmıştır. Filler malzemesinin tamamı ise doğal agregadan alınmıştır. Bu şekilde oluşturulan agrega karışımı, 50/70 penetrasyonlu bitüm ile karıştırılmış ve Marshall numuneleri oluşturulmuştur. Marshall numunelerine ait sonuçlar Ek-4' de verilen deney formunda gösterilmiştir. Bu sonuçlar yardımıyla bitüm oranına bağlı olarak pratik özgül ağırlık (D_p), Marshall stabilitesi (MS), boşluk oranı (V_h), asfaltla dolu boşluk oranı (V_f), akma ve toplam boşluk yüzdesi (VMA) grafikleri; Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26' da gösterildiği gibi çizilmiştir. Bu grafikler yardımıyla her bir grup için optimum bitüm oranları tespit edilmiş ve şartname limitlerini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir.

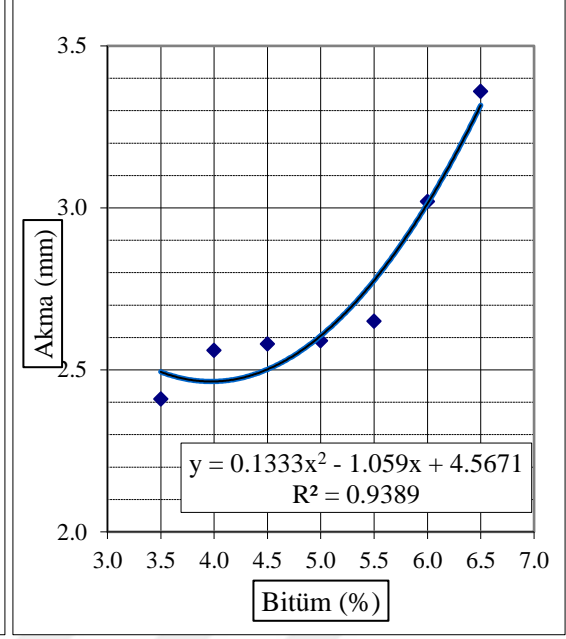


Şekil 4.21. (4) No' lu (D-D5K5-D) grup hava boşluğu grafiği

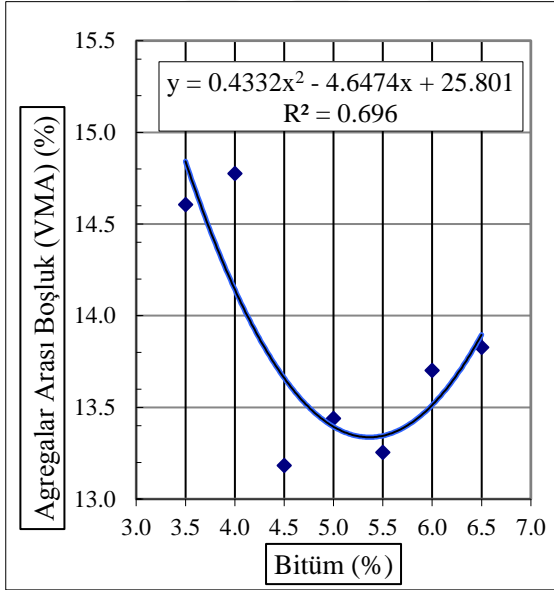
Optimum bitüm oranı tespit edilirken genelde boşluk değeri dikkate alınır. Buna göre binder tabakası dizaynı için Şekil 4.21' de %5 boşluk değerine karşılık gelen % 4.78 değeri optimum bitüm oranı olarak belirlenmiştir.



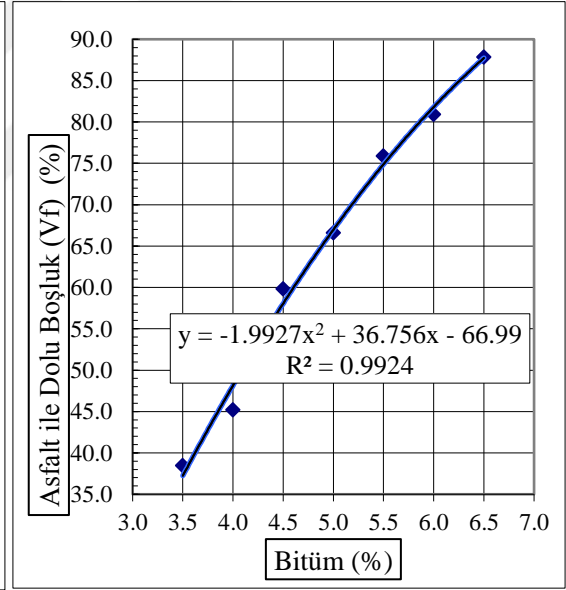
Şekil 4.22. (4) No' lu grup stabilite grafiği



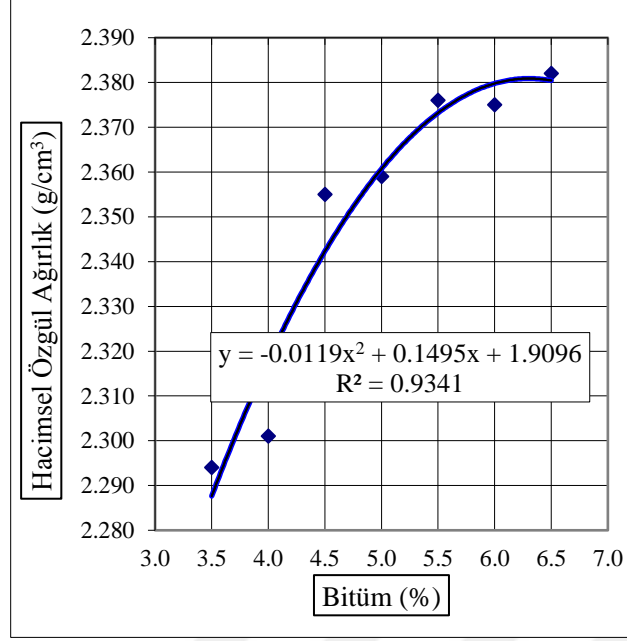
Şekil 4.23. (4) No' lu grup akma grafiği



Şekil 4.24. (4) No' lu grup VMA grafiği



Şekil 4.25. (4) No' lu grup Vf grafiği



Şekil 4.26. (4) No' lu (D-D5K5-D) grup hacimsel özgül ağırlık grafiği

Şekil 4.26' da %5 boşluk değerine karşılık gelen % 4.78 optimum bitüm oranı için stabilite, akma, agregalar arası boşluk, asfalt ile dolu boşluk ve hacimsel özgül ağırlık değerleri Bölüm 4.3.1' deki gibi hesaplanmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen veriler Çizelge 4.26' da görüldüğü gibidir.

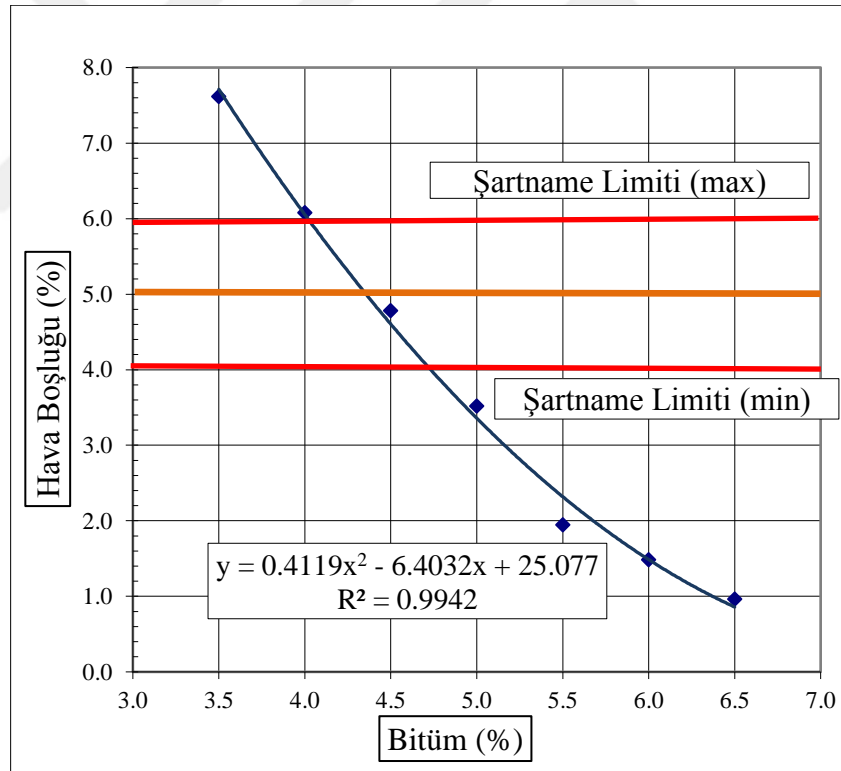
Çizelge 4.26. (4) No' lu (D-D5K5-D) grubun Marshall parametrelerinin KTŞ' ye uygunluğu

	Deney Sonucu	Binder Tabakası		Sonuç
		min	max	
Stabilite, kg	1542	750	-	Uygun
Akma, mm	2.55	2	4	Uygun
Hava Boşlukları, %	5	4	6	Uygun
Asf. Dolu Boşluk (V_f), %	63.17	60	75	Uygun
Agregalar Arası Boşluk (VMA) %	13.48	13	15	Uygun
Hacimsel özgül ağırlık, g/cm ³	2.352	-	-	-
Optimum Bitüm, %	4.78	3.5	6.5	Uygun

Elde edilen sonuçlara bakıldığında % 4.78 optimum bitüm oranının şartname limitlerini sağladığı görülmüştür.

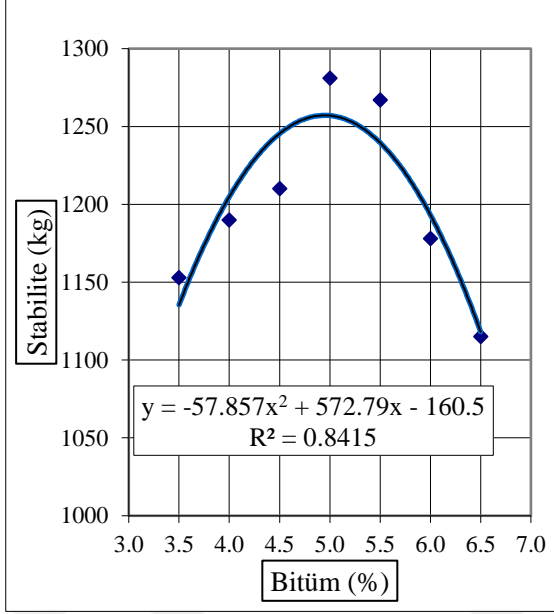
4.3.5. (5) No' lu (M-D7.5K2.5-D) grup marshall dizayn sonucu

Bu grupta kaba agreganın tamamı mermer agregasından alınırken ince agreganın %75' i doğal agregadan, %25' i kentsel dönüşüm beton atıklarından elde edilen malzemeden alınmıştır. Filler malzemesinin tamamı ise doğal agregadan alınmıştır. Bu şekilde oluşturulan agrega karışımı, 50/70 penetrasyonlu bitüm ile karıştırılmış ve Marshall numuneleri oluşturulmuştur. Marshall numunelerine ait sonuçlar Ek-5' de verilen deney formunda gösterilmiştir. Bu sonuçlar yardımıyla bitüm oranına bağlı olarak pratik özgül ağırlık (D_p), Marshall stabilitesi (MS), boşluk oranı (V_h), asfaltla dolu boşluk oranı (V_f), akma ve toplam boşluk yüzdesi (VMA) grafikleri; Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32' de gösterildiği gibi çizilmiştir. Bu grafikler yardımıyla her bir grup için optimum bitüm oranları tespit edilmiş ve şartname limitlerini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir.

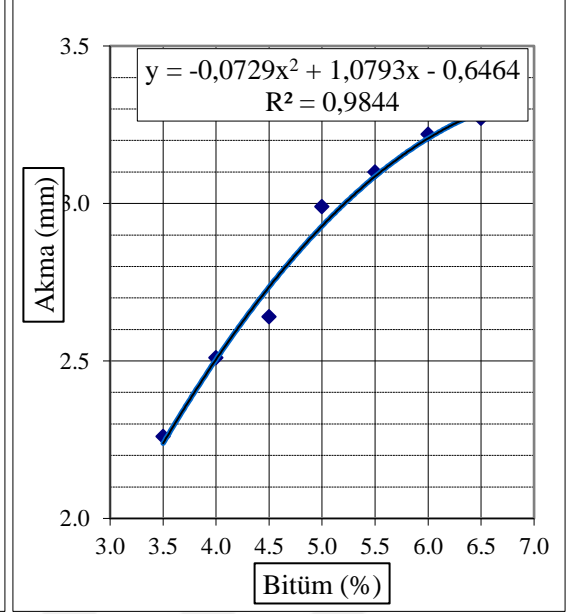


Şekil 4.27. (5) No' lu (M-D7.5K2.5-D) grup hava boşluğu grafiği

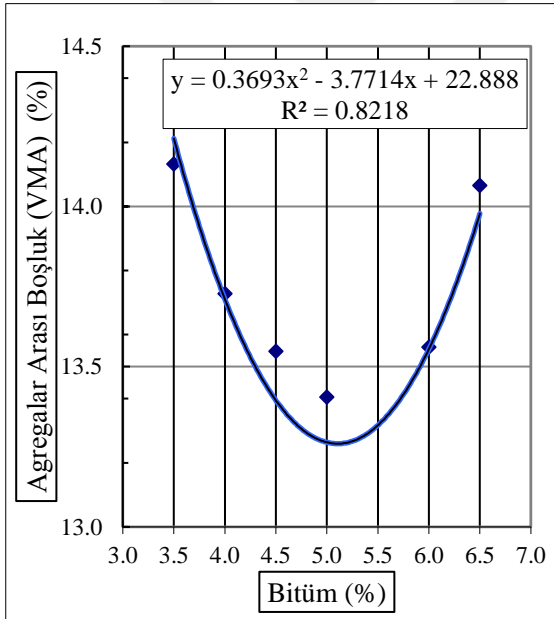
Optimum bitüm oranı tespit edilirken genelde boşluk değeri dikkate alınır. Buna göre binder tabakası dizaynı için Şekil 4.27' de %5 boşluk değerine karşılık gelen % 4.35 değeri optimum bitüm oranı olarak belirlenmiştir.



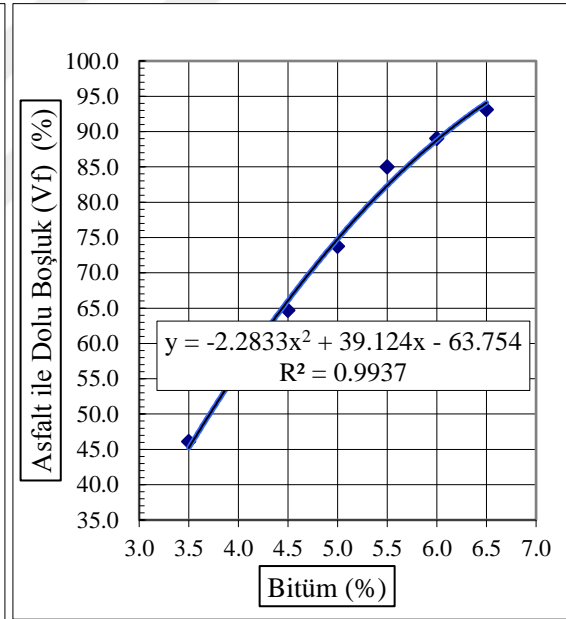
Şekil 4.28. (5) No' lu grup stabilite grafiği



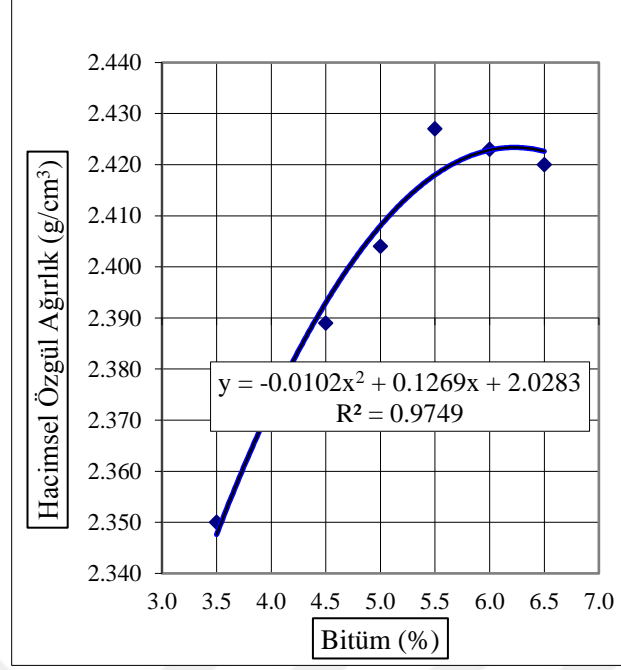
Şekil 4.29. (5) No' lu grup akma grafiği



Şekil 4.30. (5) No' lu grup VMA grafiği



Şekil 4.31. (5) No' lu grup Vf grafiği



Şekil 4.32. (5) No' lu (M-D7.5K2.5-D) grup hacimsel özgül ağırlık grafiği

Şekil 4.32' de %5 boşluk değerine karşılık gelen % 4.35 optimum bitüm oranı için stabilite, akma, agregalar arası boşluk, asfalt ile dolu boşluk ve hacimsel özgül ağırlık değerleri Bölüm 4.3.1' deki gibi hesaplanmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen veriler Çizelge 4.27' de görüldüğü gibidir.

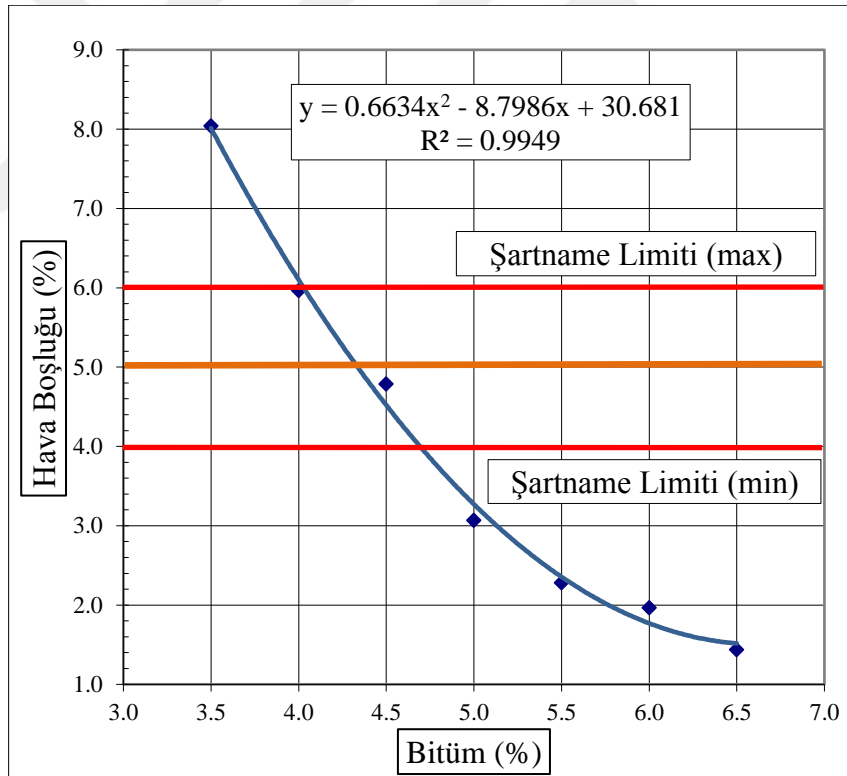
Çizelge 4.27. (5) No' lu (M-D7.5K2.5-D) grubun Marshall parametrelerinin KTŞ' ye uygunluğu

	Deney Sonucu	Binder Tabakası		Sonuç
		min	max	
Stabilite, kg	1236	750	-	Uygun
Akma, mm	2.67	2	4	Uygun
Hava Boşlukları, %	5	4	6	Uygun
Asf. Dolu Boşluk (V_f), %	63.23	60	75	Uygun
Agregalar Arası Boşluk (VMA) %	13.47	13	15	Uygun
Hacimsel özgül ağırlık, g/cm ³	2.387	-	-	-
Optimum Bitüm, %	4.35	3.5	6.5	Uygun

Elde edilen sonuçlara bakıldığında % 4.35 optimum bitüm oranının şartname limitlerini sağladığı görülmüştür.

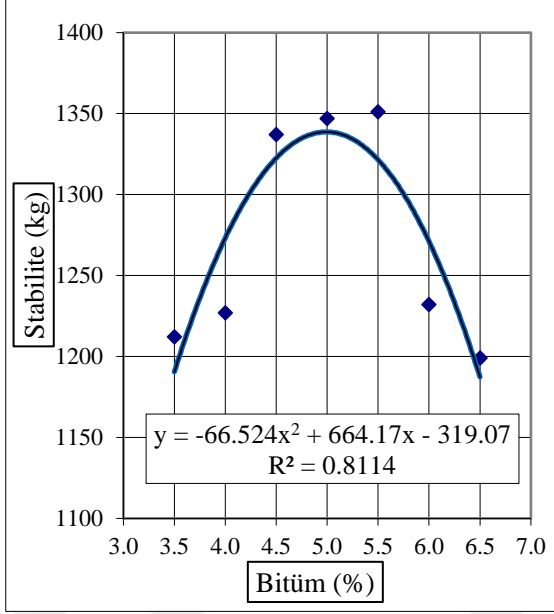
4.3.6. (6) No' lu (D-D7.5K2.5-D) grup marshall dizayn sonucu

Bu grupta kaba agreganın tamamı doğal agregadan alınırken ince agreganın %75' i doğal agregadan, %25' i kentsel dönüşüm beton atıklarından elde edilen malzemeden alınmıştır. Filler malzemesinin tamamı ise doğal agregadan alınmıştır. Bu şekilde oluşturulan agrega karışımı, 50/70 penetrasyonlu bitüm ile karıştırılmış ve Marshall numuneleri oluşturulmuştur. Marshall numunelerine ait sonuçlar Ek-6' da verilen deney formunda gösterilmiştir. Bu sonuçlar yardımıyla bitüm oranına bağlı olarak pratik özgül ağırlık (D_p), Marshall stabilitesi (MS), boşluk oranı (V_h), asfaltla dolu boşluk oranı (V_f), akma ve toplam boşluk yüzdesi (VMA) grafikleri; Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37 ve Şekil 4.38' de gösterildiği gibi çizilmiştir. Bu grafikler yardımıyla her bir grup için optimum bitüm oranları tespit edilmiş ve şartname limitlerini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir.

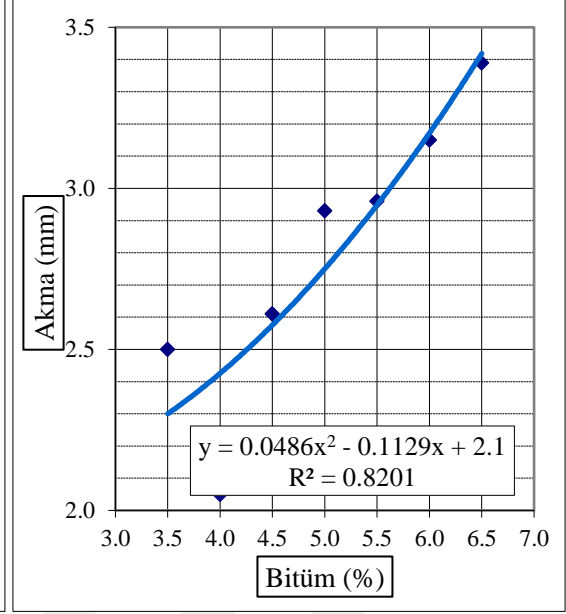


Şekil 4.33. (6) No' lu (D-D7.5K2.5-D) grup hava boşluğu grafiği

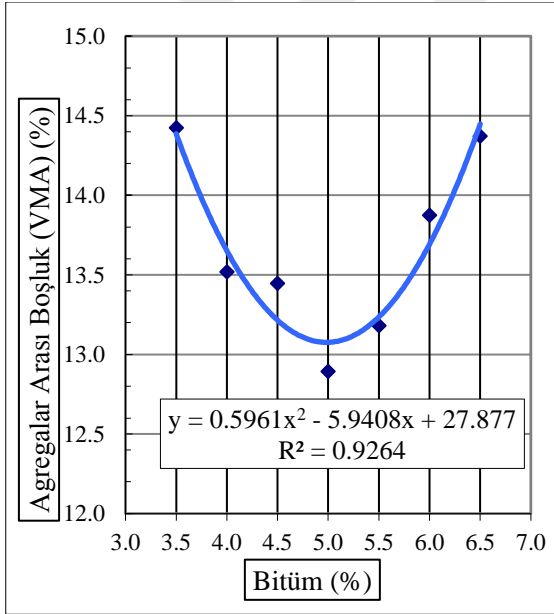
Optimum bitüm oranı tespit edilirken genelde boşluk değeri dikkate alınır. Buna göre binder tabakası dizaynı için Şekil 4.33' de %5 boşluk değerine karşılık gelen % 4.33 değeri optimum bitüm oranı olarak belirlenmiştir.



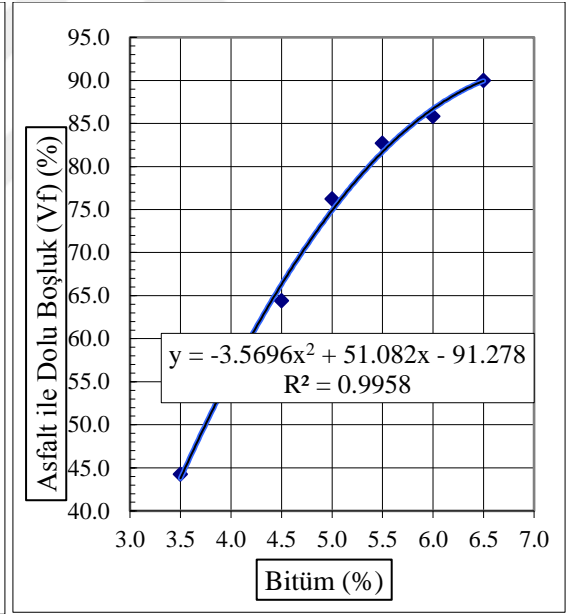
Şekil 4.34. (6) No' lu grup stabilite grafiği



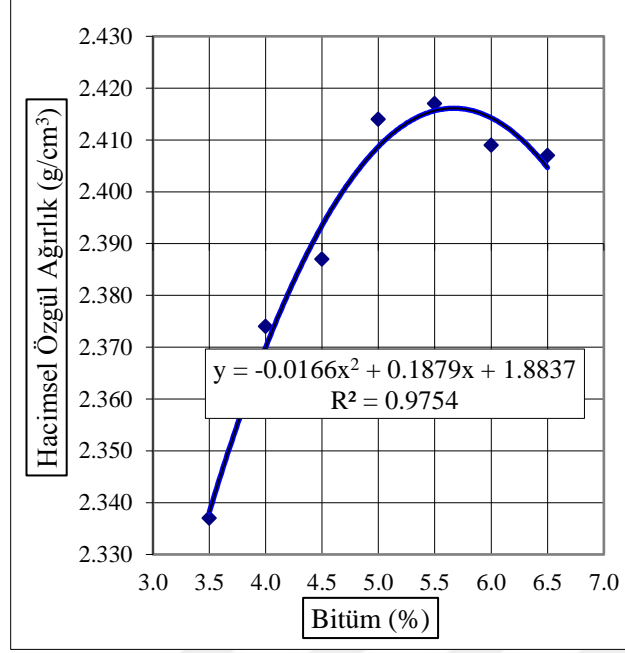
Şekil 4.35. (6) No' lu grup akma grafiği



Şekil 4.36. (6) No' lu grup VMA grafiği



Şekil 4.37. (6) No' lu grup Vf grafiği



Şekil 4.38. (6) No' lu (D-D7.5K2.5-D) grup hacimsel özgül ağırlık grafiği

Şekil 4.38' de %5 boşluk değerine karşılık gelen % 4.33 optimum bitüm oranı için stabilite, akma, agregalar arası boşluk, asfalt ile dolu boşluk ve hacimsel özgül ağırlık değerleri Bölüm 4.3.1' deki gibi hesaplanmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen veriler Çizelge 4.28' de görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.28. (6) No' lu (D-D7.5K2.5-D) grubun Marshall parametrelerinin KTŞ' ye uygunluğu

	Deney Sonucu	Binder Tabakası		Sonuç
		min	max	
Stabilite, kg	1310	750	-	Uygun
Akma, mm	2.52	2	4	Uygun
Hava Boşlukları, %	5	4	6	Uygun
Asf. Dolu Boşluk (V_f), %	62.98	60	75	Uygun
Agregalar Arası Boşluk (VMA) %	13.33	13	15	Uygun
Hacimsel özgül ağırlık, g/cm ³	2.386	-	-	-
Optimum Bitüm, %	4.33	3.5	6.5	Uygun

Elde edilen sonuçlara bakıldığında % 4.33 optimum bitüm oranının şartname limitlerini sağladığı görülmüştür.

5. SONUÇ

Tüm dünya ülkelerindeki nüfusun ve teknolojik gelişmelerin hızla artması sonucunda, meydana gelen çevre kirliliği ve buna bağlı olarak doğal kaynakların yok oluşu, insanlığın en büyük sorunu haline gelmiştir. Bu sorun insan ve çevre sağlığını her zaman tehdit etmeye devam edecektir. Burada bize düşen en önemli görev ise oluşan bu atıkların bir an önce nerede, nasıl ve ne biçimde bertaraf edilebileceğini tespit edip bu yönde çalışmalar yapmaktır. Bu sebeple araştırmacılar çevre kirliliğine neden olan atık malzemelerin farklı alanlarda kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapmaktadır.

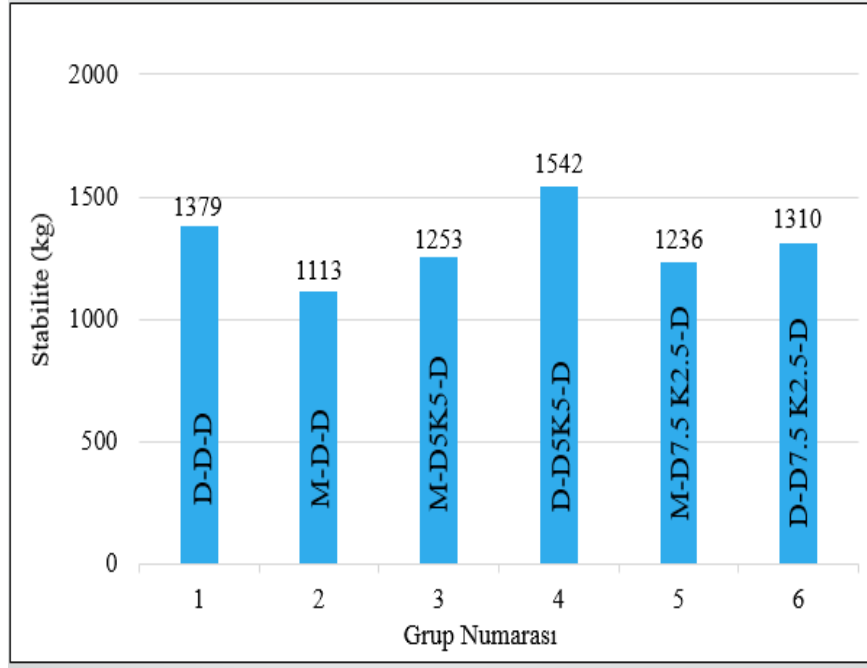
Yapılan bu tez çalışması kapsamında; Tokat iline ait mermer atıkları ile kentsel dönüşüm beton atıkları agrega boyutlarına getirilmiş ve hali hazırda yol inşaatında kullanılan kalker kökenli doğal agrega ile birlikte farklı oranlarda karıştırılarak asfalt kaplamaların binder tabakasında kullanılabilirliği incelenmiştir.

Laboratuvar deneyleri sonucunda agrega numuneleri ve 6 farklı Marshall deney grubu için aşağıda verilen sonuçlar bulunmuştur.

- Bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan agregaların Karayolları Teknik Şartnamesi'nde (KTŞ) verilen özellikleri sağlaması gerekmektedir. Deneysel çalışmada atık mermer, kentsel dönüşüm atığı ve doğal agrega olmak üzere üç farklı çeşitte agrega grubu kullanılmıştır. Los Angeles Aşınma deneyi sonuçlarına göre doğal agreganın aşınma kaybı %20.65 iken mermer agregasının aşınma kaybı %20.78 olarak bulunmuştur. Her iki agrega grubunun aşınma kaybı değeri birbirine çok yakın çıkmış ve şartname limit değeri olan %30 değerinin altında kalmıştır. Atık mermer agregalarının Los Angeles aşınma kaybı değeri yüksek çıktığı için çalışmalar kapsamında, mermer agregaları kaba agrega olarak tercih edilmiştir. İnce agrega olarak ise kentsel dönüşüm beton atıkları kullanılmıştır.
- Agrega numunelerinde aranan özelliklerden birisi de su emme yüzdesidir. Binder tabakasında kullanılan kaba ve ince agrega için bu değer %2.5 değerinden düşük olması istenmektedir. Yapılan deneyler sonucunda doğal agrega ve mermer agregasının su emme miktarlarının şartname limitini sağladığı ancak ince agrega olarak kullanılan kentsel dönüşüm atığının su emme

miktarının %6.82 değerine sahip olduğu ve aşırı poroz bir malzeme olduğu tespit edilmiştir.

- Yassı dane miktarının belirlendiği yassılık indeksi deney sonuçlarına göre, mermer agregasının yassılık indeksi miktarı doğal agregaya göre daha yüksek çıkmıştır. Ancak her iki agrega grubu da KTŞ 2013' de verilen limit değerinin altında kalmıştır. Yassı danelerin çekme dayanımı düşük olduğundan asfalt karışımında zayıf bölgeler oluşturmakta ve üstyapıda hasarlara neden olmaktadır. Atık mermerler kırıcı ile agrega boyutuna getirildikten sonra tambur içerisinde birkaç tur atılarak yassı dane miktarı azaltılabilir ve yassılık indeksi düşürülebilir.
- KTŞ 2013' de verilen bir diğer önemli özellik de soyulma mukavemeti değeridir. Bu değer karışımların kohezyonu açısından önemlidir. KTŞ 2013' de soyulma mukavemeti değerinin %60' tan büyük olması istenmektedir. Deney sonuçlarına göre doğal ve mermer agregaların soyulma mukavemeti değerleri şartnamedeki kritik değeri sağlamıştır.
- Marshall dizaynına göre yapılan stabilite ve akma deney sonuçlarına göre en yüksek stabilite değeri 4 No' lu (D-D5K5-D) karışımdan elde edilmiştir. Tüm karışımların stabilite değerleri şartnamedeki minimum değerinin çok üstünde olup grup numarasına göre büyüklük sıralaması 4>1>6>3>5>2 şeklinde olmuştur. Şekil 5.1' de stabilite değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



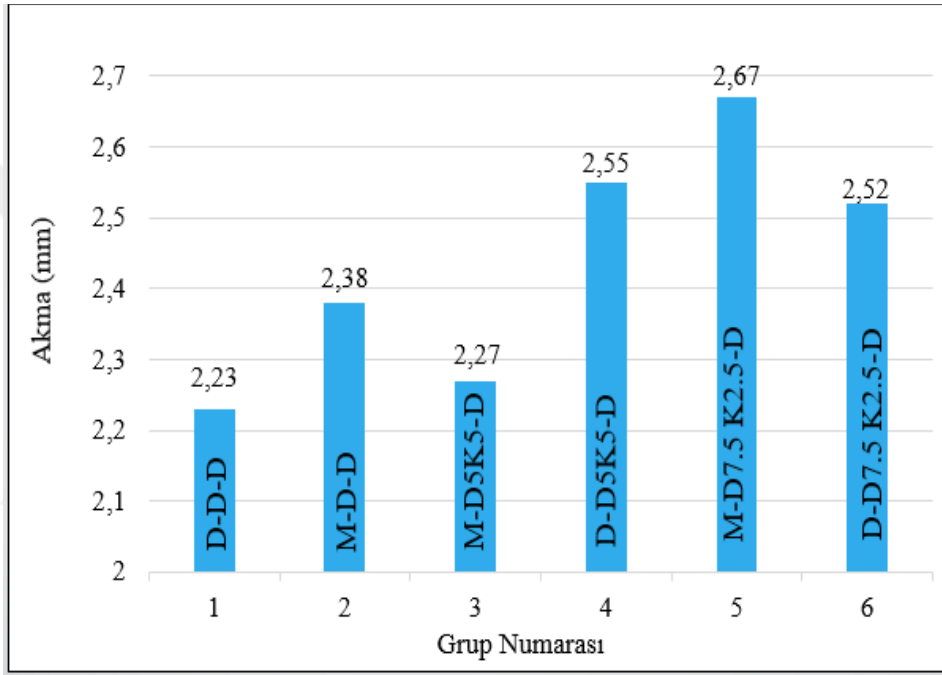
Şekil 5.1. Optimum bitüm değerlerine göre hesaplanan Marshall stabilite değerleri

- Şekil 5.1’ de verilen stabilite grafiğine göre; 1 (D-D-D) – 2 (M-D-D) No’ lu gruplar, 3 (M-D5K5-D) – 4 (D-D5K5-D) No’ lu gruplar ve 5 (M-D7.5K2.5-D) – 6 (D-D7.5K2.5-D) No’ lu gruplar kendi içinde karşılaştırıldığında, kaba agregası mermer atığından oluşan grupların Marshall stabilite değerlerinin, kaba agregası doğal agregadan oluşan gruba göre düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi mermer agregalarının, doğal agregaya göre daha çok yassı malzeme içermesidir. Tüm gruplar içerisinde en düşük stabiliteyi, kaba agregasının tamamı mermer, ince ve filler agregasının tamamı doğal agrega olan 2 (M-D-D) No’ lu grup vermiştir. En yüksek stabilite değerini ise, kaba ve filler agregasının tamamı doğal agrega; ince agregasının %50’si kentsel dönüşüm beton atığı, %50’si doğal agrega olan 4 (D-D5K5-D) No’ lu grup vermiştir.
- Stabilite değerleri şu şekilde karşılaştırılmıştır:
 - 1 (D-D-D), 4 (D-D5K5-D) ve 6 (D-D7.5K2.5-D) No’ lu grupları incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır: 6 (D-D7.5K2.5-D) No’ lu grup ile 1 (D-D-D) No’ lu grubun stabilite değerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. 4 (D-D5K5-D) No’ lu grubun stabilitesinin ise bu iki gruptan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu gruplardan 1 (D-D-D) No’ lu grup,

kontrol (şahit) numunesi olup tamamı doğal agregadan oluşmaktadır. 4 (D-D5K5-D) ve 6 (D-D7.5K2.5-D) No' lu grupların ise kaba ve filler agregaları doğal agregadan oluşurken, ince agregalarında sırasıyla % 50 ve %25 oranında kentsel dönüşüm beton atığı kullanılmıştır. Bu veriler sonucunda kentsel dönüşüm beton atığı miktarının artması ile stabilitenin arttığı görülmüştür.

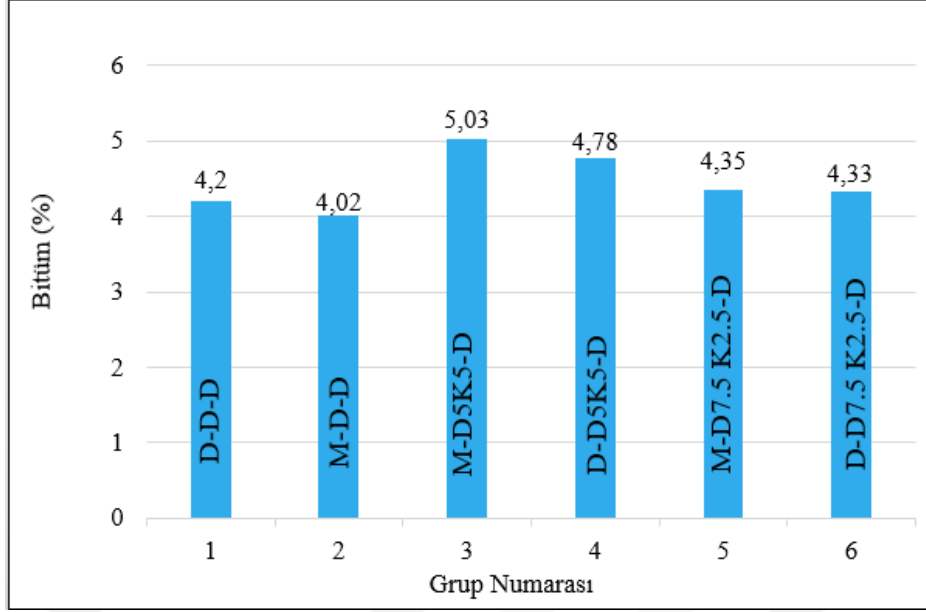
- 2 (M-D-D), 3 (M-D5K5-D) ve 5 (M-D7.5K2.5-D) No' lu gruplar incelendiğinde; en yüksek stabilite değerine 3 (M-D5K5-D) No' lu grubun sahip olduğu, bunu sırasıyla 5 (M-D7.5K2.5-D) ve 2 (M-D-D) No' lu grupların takip ettiği görülmüştür. 3 (M-D5K5-D) ve 5 (M-D7.5K2.5-D) No' lu grupların stabilite değerlerinin ise birbirine çok yakın çıktığı görülmüştür. Bu grupların agrega içerikleri şu şekilde oluşturulmuştur: 2 (M-D-D) No' lu grubun ince ve filler agregası doğal agregadan oluşurken, kaba agregasının tamamı atık mermer agregasından oluşturulmuştur. 3 (M-D5K5-D) ve 5 (M-D7.5K2.5-D) No' lu grupların ise kaba ve filler agregalarının tamamında mermer kullanılırken, ince agregalarında sırasıyla %50 ve %25 oranında kentsel dönüşüm beton atığı kullanılmıştır. Elde edilen veriler sonucunda yine kentsel dönüşüm beton atığı miktarının artması ile stabilitenin arttığı görülmüştür.
- Son olarak 4 (D-D5K5-D) ve 6 (D-D7.5K2.5-D) No' lu gruplar incelendiğinde; 4 (D-D5K5-D) No' lu grubun stabilite değerinin 6 (D-D7.5K2.5-D) No' lu gruptan daha yüksek olduğu görülmüştür. Yine bu iki grubun farkı; 4 (D-D5K5-D) No' lu grupta %50 oranında kentsel dönüşüm beton atığı kullanılırken, 6 (D-D7.5K2.5-D) No' lu grupta %25 oranında kentsel dönüşüm beton atığı kullanılmıştır. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde, kentsel dönüşüm beton atığı miktarının artması ile stabilitenin arttığı tespit edilmiştir.
- Özetleyecek olursak; kentsel dönüşüm beton atığı miktarının artmasıyla stabilite değerlerinde genel olarak bir artış olduğu tespit edilmiştir. Sadece 1 (D-D-D) ve 6 (D-D7.5K2.5-D) No' lu grupların karşılaştırılmasına bakıldığında göz ardı edilebilecek miktarda bir düşüş olduğu görülmüştür.

- Ayrıca kaba agrega olarak mermerin kullanılması durumunda, ince agrega grubuna kentsel dönüşüm beton atığının ikame edilmesi ile stabilitenin artırılabilceği tespit edilmiştir. 3 (M-D5K5-D) No' lu grubun stabilite değeri ile 1 (D-D-D) No' lu grubun (kontrol) stabilite değeri incelendiğinde birbirine yakın olduğu, mermer ve kentsel dönüşüm beton atıklarının birlikte kullanılması durumunda, kontrol numunelerine yakın bir stabilite değeri elde edildiği görülmüştür.



Şekil 5.2. Optimum bitüm miktarlarına göre hesaplanan akma değerleri

- Şekil 5.2' de verilen akma değerleri incelendiğinde tüm grupların şartnamede verilen akma sınırları içerisinde kaldığı tespit edilmiştir. Deney gruplarından elde edilen akma değerlerinin grup numarasına göre büyüklük sıralaması 5>4>6>2>3>1 şeklindedir.



Şekil 5.3. Optimum bitüm miktarları

- Deneyler sonucunda elde edilen optimum bitüm miktarı değerleri 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 No' lu karışımlar için sırasıyla % 4.20, % 4.02, % 5.03, % 4.78, % 4.35 ve % 4.33 olarak bulunmuş olup Şekil 5.3' te gösterilmiştir. Değerler incelendiğinde 3 (M-D5K5-D) ve 4 (D-D5K5-D) No' lu grupların optimum bitüm miktarının yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ince agrega olarak kullanılan kentsel dönüşüm beton atıklarının poroz bir yapıya sahip olmasıdır. Ayrıca 3 (M-D5K5-D) ve 4 (D-D5K5-D) No' lu karışım gruplarında %50 oranında kentsel dönüşüm beton atığı kullanıldığı için diğerlerine göre optimum bitüm miktarı artmıştır.
- Ancak bu atık malzemelerin çevreye verdiği zarar, yeni agrega ocaklarına duyulan ihtiyaç, işletme ve taşıma maliyetleri gibi faktörler göz önüne alınırsa, 3 (M-D5K5-D) ve 4 (D-D5K5-D) No' lu grupların optimum bitüm değerlerindeki bu artış miktarı göz ardı edilebilir. Tüm karışım gruplarının optimum bitüm miktarları incelendiğinde en ekonomik olanın 2 (M-D-D) No' lu grup olduğu, ancak diğer gruplarında şartnamede verilen sınırlar içerisinde kaldığı görülmüştür.
- Bu çalışma sonucunda, Tokat ilindeki mermer işletme tesislerinde ortaya çıkan atık mermerler ile kentsel dönüşüm beton atıklarının, farklı oranlarda doğal agregaya katılarak veya bu atıkların birbirleri ile karıştırılarak bitümlü sıcak karışımların binder tabakasında kullanılabileceği tespit edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Ahmedzade, P. ve Şengöz, B., 2008. Evaluation Of Steel Slag Coarse Aggregate In Hot Mix Asphalt Concrete. *Journal of Hazardous Materials*, 165 (2009), 300-305.
- Akbulut, H., Gürer, C., Çetin, S. ve Elmacı, A., 2012. Investigation Of Using Granite Sludge As Filler In Bituminous Hot Mixtures. *Construction and Building Materials*, 36 (2012), 430-436.
- Aktaş, B. ve Bozdemir, S., 2015. Evaluation Of Waste Slags Produced By Zinc İndustry In Bituminous Hot Mixtures. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 19 (1), 192-200.
- Anonim, 2018. 2018 Yılı Maden Sektörü Görünümü Raporu. İstanbul Maden İhracatçıları Birliği, <http://www.imib.org.tr/wp-content/uploads/2014/09/1-MADEN-SEKT%C3%96R-G%C3%96R%C3%96N%C3%9CM%C3%96R.pdf> – (09.08.2019).
- Arslan, F., 2014. Taş Mastik Asfalt Karışımlarda İstanbul Çevresindeki Cebeci-Dolamitli Kireçtaşı, Gölcük - Kumtaşı Ve Karatepe - Bazaltı Kullanımının İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Aslan, Ş., 2015. Endüstriyel ve Doğal Atıkların Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.
- Aycan, İ. O., 2007. Türkiye’de Mermercilik Ve Geleceği. (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Konya.
- Baradan, B., Türkel, S., Yazıcı, H., Ün, H., Yiğiter, H., Felekoğlu, B., Felekoğlu-Tosun, K., Aydın, S., Yardımcı, M. Y., Topal, A. ve Öztürk, A. U., 2012. Beton. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:334, 825 s, İzmir.
- Bocci, E., 2017. Use of ladle furnace slag as filler in hot asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 161 (2018), 156–164.
- BS 812-105.1, 1989. Testing Aggregates. Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates, American Association of State and Highway Transportation Officials.
- Ceylan, H. ve Mança, S., 2013. Mermer Parça Atıklarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 3 (2), 21-25.
- Chen, M., Lin, J., Wu S. ve Liu, C., 2010. Utilization Of Recycled Brick Powder As Alternative Filler In Asphalt Mixture. *Construction and Building Materials*, 25 (2011), 1532-1536.
- Ektaş, S., 2011. Beton Atıklarının Asfalt Betonu Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Ergezer, F., 2018. Sıcak Çermik Bölgesi (Sivas) Traverten Atıklarının Yol Temel ve Alt Temel Tabakalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt 22, Özel Sayı, 181-188.
- Ertaş, F. C., Döven, M. S. ve Özyer, K., 2011. Tokat İli Mermer Endüstrisi Sektör Araştırması ve Rekabetçilik Analizi. 2011 Yılı Doğrudan Faaliyet Desteği Programı, Tokat.
- Fındık, F. S., 2005. Karayolu Esnek Üstyapıları Alttemel Tabakasının Stabilizasyonunda Hafif Agregaların Kullanılabilirliği. (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Gündüzalp, A. A. ve Güven, S., 2016. Atık, Çeşitleri, Atık Yönetimi, Geri Dönüşüm ve Tüketici: Çankaya Belediyesi ve Semt Tüketicileri Örneği. Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi, [http://www.sdergi.hacettepe.edu.tr/makaleler/Atik-CesitleriYonetimi-GeriDonusumVeTuketici.pdf-\(09.09.2019\)](http://www.sdergi.hacettepe.edu.tr/makaleler/Atik-CesitleriYonetimi-GeriDonusumVeTuketici.pdf-(09.09.2019)).
- Gürer, C., (2005). Atık Mermer Parçalarının Bitümlü Yol Kaplamalarında Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ. ve Eren, K., 2001. Asfalt ve Uygulamaları. İsfalt, 280 s, İstanbul.
- Kaçtıoğlu, S. ve Şengül, Ü., 2010. Erzurum Kenti Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü İçin Tersine Lojistik Ağı Tasarımı ve Bir Karma Tam Sayılı Programlama Modeli. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 24 (1), 89-112.
- Kara, Ç., 2012. Fayans Atıklarının Bitümlü Sıcak Karışımların Performans Özelliklerine Etkisi. (Yüksek Lisans Tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kaya, Ş. G., 2009. Türkiye’de Doğal Taş Sektörü Ve Tokat İli Potansiyeli. (Yüksek Lisans Tezi), Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı, Tokat.
- Köfteci, S., 2017. Bitümlü Sıcak Karışımlardan Geri Dönüşüm Yolu İle Elde Edilen Agregaların Performanslarının Değerlendirilmesi: Deneysel Bir Çalışma. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6 (2), 535-545.
- Köktürk, U., 2002. Endüstriyel Hammaddeler. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Yayını, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Maçın, K. E. ve Demir, İ., 2018. Kentsel Dönüşüm Sürecinde İstanbul’da İnşaat ve Yıkıntı Atıkları Yönetimi. ADYU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9 (2018), 188-201.
- Mazlum, M. S., 2014. Ekonomik Ömrünü Tamamlamış Asfalt Kaplamaların Kazınarak Bitümlü Sıcak Karışımlarda Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Okubay, M., 2016. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Agrega Olarak Mermer Atığı Kullanımının Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ontürk, K., Fırat, S., Vural, I. ve Khatib J. M., 2014. Uçucu Kül Ve Mermer Tozu Kullanarak Yol Altyapısının İyileştirilmesi. Politeknik Dergisi, 17 (1), 35-42.
- Orhan, F., 2012. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, 40 s, Ankara.
- Öksüz, B., 2011. Asfalt Betonu Kaplamalarda Volkanik Cüruf ve Cam Atıklarının Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Önal, M. A. ve Kahramangil, M., 1993. Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, 200s, Ankara.
- Özmen, M., 2003. Kasım Şubat 2001 Ekonomik Krizleri Ve Göller Bölgesi Mermercilik Sektörüne Etkileri. (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı, Isparta.
- Öztürk, M., 2018. Mermer Kesiminden Kaynaklanan Çevre Kirliliği ve Önlemleri. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı,

- http://www.cevresehirkutuphanesi.com/assets/files/slider_pdf/5mgT7FNMcjwz.pdf-(15.09.2019)
- Sağlık, A. ve Güngör, A.G., 2008. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, 159 s, Ankara.
- Saltan, M., Öksüz, B., ve Uz, V. E., 2015. Use Of Glass Waste As Mineral Filler İn Hot Mix Asphalt. Science and Engineering of Composite Materials, 22 (3), 271-277.
- Sargın, S., Saltan, M., Morova, N., Serin, S. ve Terzi, S., 2013. Evaluation Of Rice Husk Ash As Filler İn Hot Mix Asphalt Concrete. Construction and Building Materials, 48 (2013), 390-397.
- Sarıtaş A., 2006. Burdur İli Mermer Sektörünün Kurumsal ve Ekonomik Yapısı. (Yüksek Lisans Tezi), Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- Şen, S., 2006. Baltaşı-Palu (Elazığ) Travertenlerinin Tekno-Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, 1995. Mermer ve Granit Sanayi Sektör Araştırması. Sanayi ve Geliştirme Müdürlüğü, Ankara.
- T.C. Ticaret Bakanlığı, 2018. Doğal Taşlar Sektör Raporu. İhracat Genel Müdürlüğü, Ankara.
- TS EN 1097-2, 2010. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler- Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Yöntemler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-3, 1999. Agregaların Mekanik Ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 3: Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, 2002. Agregaların Mekanik Ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-8, 2010. Agregaların Mekanik Ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 8: Taş Parlatma Değerinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1367-2, 2011. Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler Bölüm: 2 Magnezyum Sülfat Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1426, 2015. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar- İğne Batma Derinliği Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 15326, 2010. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar- Yoğunluk ve Özgül Kütle Tayini- Kapiler Kapaklı Piknometre Yöntemi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1900-1, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tunç, A., 2004. Esnek Kaplama Malzemeleri Elkitabı. Asil Yayın, 352 s, Ankara.
- Tunç, A., 2004. Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları. Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti. BRC basım, 549 s, Ankara.
- Tunç, A., 2007. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. Nobel Yayınevi, 840s, Ankara.
- Umar, F. ve Açar, E., 1991, Yol Üstyapısı. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası,339 s, İstanbul.
- Ural, N. ve Yakşe, G., 2015. Atık Mermer Parçalarının Yol Temel Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2 (2), 53-62.
- Uyanık, T., 2001. Doğaltaşlar Dış Pazar Araştırması, T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı, İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi Yayını, Ankara.
- Uzunoglu, H., 2014. Çevremizi Kirleten Atıklar ve Atık Yönetiminin Önemi. Ar&Ge Bülten 2014 Haziran,

- http://www.izmir.org.tr/portals/0/argebulten/at%C4%B1klarveat%C4%B1ky%C3%B6netimi_handeuzunoglu.pdf - (10.10.2019).
- Ünsal, A. ve Şen, H., 2008. Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneylei. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, 236 s, Ankara.
- Üstünkol, F. N. ve Turabi, A., 2009. Endüstriyel Atıkların Karayolu Üstyapısında Değerlendirilmesi. BAÜ FBE Dergisi, 11 (1), 15-27.
- Yavuz, C. S., 2018. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Asfalt Plent Atıklarının Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Yılmaz, M., Kök, B. V. ve Kuloğlu N., 2011. Effects Of Using Asphaltite As Filler On Mechanical Properties Of Hot Mix Asphalt. Construction and Building Materials, 25 (2011), 4279-4286.
- Zoorob, S. E., Suparma, L. B., 2000. Laboratory Design and Investigation of the Properties of Continuously Graded Asphaltic Concrete Containing Recycled Plastics Aggregate Replacement (Plastiphalt). Cement & Concrete Compasites, 22 (1), 233-242.



7. EKLER

Ek-1

Briket		Bitüm Yüzdeleri			Briket Yüzdeleri			Havadaki Ağırlık	Sudaki Ağırlık	Doygun Yüzeysel Ağırlık	Hacim	Hac. Özgü. Ağırlık	Mak.Teorik Öz.A. Briket Dr.	Bosluk % V/h	VMA % V/f	Asf. Dolu Boşluk V/f	Akma mm	Stabilite	Düzeltilmiş Faktörü	Düzeltilmiş Stabilite Kg	Formüller								
No	Wa	Wb	Wc	Ort	1	2	3	A	C	B	cm ³	Dp								W _a , Yüze bitüm W _b , Yüze Bitüm V=B-C Dp=A/V									
1	3.5	3.38	40.25	63.50	63.54	63.41	63.5	1185.60	695.80	1189.40	493.60	2.402		7.68	14.87	48.342	2.24	1224	1.000	1224	W _a , Yüze bitüm W _b , Yüze Bitüm V=B-C Dp=A/V								
2	3.5	3.38	65.71	66.09	65.93	65.9	1184.10	684.90	1190.30	505.40	2.343		2.564			1.64	1478.07	0.965	1426										
3	3.5	3.38	65.20	64.75	64.83	64.9	1184.50	687.90	1190.90	503.00	2.355					1.84	1533.89	0.945	1450										
ORTALAMALAR																													
4	4.0	3.85	46.00	62.67	62.88	62.72	1191.50	699.10	1192.90	493.80	2.413					2.41	1338	1.018	1362	G _{ef} = $\frac{100 \cdot W_A - W_A}{100 + W_A}$									
5	4.0	3.85	63.78	63.84	63.62	63.7	1190.30	697.90	1193.50	495.60	2.402		2.545	5.67	14.05	59.609	2.09	1599	0.995	1591	D _i = $\frac{100 + W_A}{G_{ef}}$								
6	4.0	3.85	64.55	64.75	64.62	64.6	1189.70	695.70	1193.80	498.10	2.388					2.22	1434.21	0.973	1395										
ORTALAMALAR																													
7	4.5	4.31	51.75	61.93	61.94	62.45	1195.90	704.30	1197.00	492.70	2.427					2.58	1325	1.035	1371	G _{ef} = $\frac{100 + W_A}{G_{ef}}$									
8	4.5	4.31	62.37	62.49	62.54	62.5	1196.90	701.70	1197.50	495.80	2.414		2.528	4.41	13.91	68.322	2.55	1214.91	1.025	1245	V/h = $\frac{(D_i \cdot D_p) \cdot 100}{D_i}$								
9	4.5	4.31	62.60	62.78	62.77	62.7	1197.30	701.10	1198.30	497.20	2.408					2.62	1385	1.020	1413										
ORTALAMALAR																													
10	5.0	4.76	57.50	62.07	61.94	62.27	1200.90	711.90	1201.40	489.50	2.453					2.65	1294	1.035	1339	D _i									
11	5.0	4.76	62.13	62.21	62.31	62.2	1200.90	709.50	1201.30	491.80	2.442		2.511	2.58	13.27	80.585	2.49	1228.07	1.033	1269	G _{sb} = $\frac{K\% + \frac{I\% + E\%}{G_{Hh}}}{G_{Hh}}$								
12	5.0	4.76	61.54	61.74	61.49	61.6	1200.30	709.30	1200.70	491.40	2.443					2.74	1315.79	1.049	1380										
ORTALAMALAR																													
13	5.5	5.21	63.25	61.50	61.42	61.61	1204.40	712.80	1204.80	492.00	2.448					3.12	1219	1.053	1284	G _{aa} = $\frac{K\% + \frac{I\% + E\%}{G_{Hh}}}{G_{Hh}}$									
14	5.5	5.21	61.50	61.54	61.51	61.5	1205.10	710.70	1205.40	494.70	2.436		2.494	2.13	13.87	84.657	3.21	1057.02	1.053	1113									
15	5.5	5.21	61.60	61.15	61.24	61.3	1204.00	710.50	1204.30	493.80	2.438					3.20	1307.02	1.059	1384										
ORTALAMALAR																													
16	6.0	5.66	69.00	61.97	61.67	61.94	1208.40	713.60	1208.70	495.10	2.441					3.68	1180	1.04	1227										
17	6.0	5.66	61.61	61.97	61.62	61.7	1206.50	709.80	1206.90	497.10	2.427		2.477	1.77	14.53	87.8	4.22	1171.05	1.046	1225	VMA = $100 - \frac{D_{p \times 100}}{G_{sb}(100 + W_a) \times 100}$								
18	6.0	5.66	61.67	61.78	61.68	61.7	1208.00	711.90	1208.40	496.50	2.433					4.12	1109.65	1.046	1161										
ORTALAMALAR																													
19	6.5	6.1	74.75	62.36	62.33	62.46	1210.30	714.40	1210.80	496.40	2.438					4.27	1145	1.028	1177	Vf = $100x \frac{VMA}{VMA - Vh}$									
20	6.5	6.1	61.67	61.96	61.77	61.8	1209.90	708.40	1210.10	501.70	2.412		2.461	1.54	15.29	89.893	4.60	1153.51	1.043	1203									
21	6.5	6.1	62.39	62.72	62.48	62.5	1205.90	707.80	1206.10	498.30	2.420					4.59	1061.4	1.025	1088										
ORTALAMALAR																													
% 4.20	OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI(Grafiikten)																												
% 4.20	OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI(Hesapla Gef deneyiyle)																												
% 4.20	OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI(Hesapla Gef hesaplama)																												
BIYER DİZAYN KRİTERLERİ																													
Bitüm Özgü. Ağı (G _b)												: 58.6			Kaba Agrega Yüzdeleri (%K)						: 2.680			Kaba Agrega Zhr. Öz. Ağı (G _{k0})			: 2.714		
Bitüm Penetrasyonu												: 57.6			İnce Agrega Yüzdeleri (%I)						: 2.684			İnce Agrega Zhr. Öz. Ağı (G _{ki})			: 2.734		
Ağre. Bit. Absorb. (P _{bs})												: 0.243			Filler Yüzdeleri (%F)						: 2.724			Filler Zhr. Öz. Ağı (G _i)			: 2.724		
Ağre. Efek. Öz. Ağı (G _{ef})												: 2.703			Ağre. Kar. Hac. Öz. Ağı (G _{sb})						: 2.686			Briketteki Agrega Miktan (gr)			: 1150		
Ağre. Kar. Zhr. Öz. Ağı (G _{sa})												: 2.722			Ağre. Kar. Zhr. Öz. Ağı (G _{sa})						: 2.722								



TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK ve DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
ULAŞTIRMA LABORATUVARI



1 NO'LU GRUP MARSHALL DENEY FORMU

Kaplama Tipi : BNDER
Darbe Sayısı : 75*2

Malzemenin Tanımı : %100 Doğal Kalker Agrega



TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ULASTIRMA LABORATUVARI



2 NO' LU GRUP MARSHALL DENEY FORMU

Kaplama Tipi : BNDER
Darbe Sayısı : 75*2

Malzemenin Tanımı : %100 Mermer Kaba Agrega + %100 Doğal İnce Agrega + %100 Doğal Filler Agrega

Briket No	Bitüm Yüzdeleri			Briket Yüksekliği			Havadaki Ağırlık A	Sudaki Ağırlık C	Doğru Yüzeyle Kuru Ağırlık B	Hacim cm ³ V	Hac Ağırlık Dp	İvelek Teorik Çıkarım D _t	Boşluk % Vh	VMA %	Asf. Dolu Yoğunluğu Vf	Alınma mm	Stabilite Faktörü	Düzeltilmiş Stabilite Kg	Formüller	
	Wa	Wb	Wc	1	2	3														Ort
1	3,5	3,38	40,25	63,0	63,40	63,3	1185,60	693,50	1189,20	495,70	2,392	2,564	6,48	13,8	53,049	2,16	1096,49	1,005	1102	$W_a \cdot Y_{uz} + e \cdot bitüm + W_b \cdot Y_{uz} + e \cdot bitüm$ $V = B-C$ $D_p = A/V$ $C_{eff} = \frac{100 \cdot W_a}{W_a + W_b} - \frac{W_a}{D_t}$ $D_t = \frac{100 \cdot W_a}{C_{eff} + W_b}$ $V_h = \frac{100 \cdot (D_t - D_p) \cdot 100}{D_t}$ $G_{sb} = \frac{100 \cdot K\% + L\% + E\%}{G_{kh} - G_{h-z}}$ $G_{sa} = \frac{100 \cdot K\% + L\% + F\%}{G_{kz} - G_{h-z}}$ $VMA = 100 - \frac{D_p \cdot 100}{C_{eff} \cdot (100 + W_a)} \cdot 100$ $V_f = \frac{100 \cdot W_a}{VMA \cdot V_h}$ $R_{ba} = \frac{100 \cdot (C_{eff} - G_{sb})}{(C_{eff} \cdot G_{sb})} \cdot 100$
2	3,5	3,38	63,10	63,0	63,10	63,0	1186,70	695,30	1190,40	495,10	2,397	2,564	6,48	13,8	53,049	2,07	1017,54	1,013	1031	
3	3,5	3,38	64,00	63,10	63,70	63,6	1186,50	698,50	1191,60	493,10	2,406	2,564	6,48	13,8	53,049	2,45	1030,7	0,998	1029	
ORTALAMALAR																				
4	4,0	3,85	46,00	62,60	62,50	62,7	1192,70	689,40	1194,60	495,20	2,409	2,564	5,09	13,55	62,441	2,22	1039,47	1,020	1060	
5	4,0	3,85	62,90	62,20	62,40	62,5	1192,40	701,80	1194,00	492,20	2,423	2,564	5,09	13,55	62,441	2,79	1254,39	1,025	1286	
6	4,0	3,85	63,00	62,60	63,10	62,9	1191,40	699,90	1192,40	492,50	2,419	2,564	5,09	13,55	62,441	2,22	1048,26	1,015	1064	
ORTALAMALAR																				
7	4,5	4,31	51,75	61,90	62,30	61,9	1195,70	705,60	1196,30	490,70	2,437	2,529	3,70	13,31	72,209	2,47	1096,49	1,040	1140	
8	4,5	4,31	62,00	62,50	61,80	62,1	1196,50	705,30	1197,00	491,70	2,433	2,529	3,70	13,31	72,209	2,58	1048,26	1,035	1085	
9	4,5	4,31	62,10	62,30	62,50	62,3	1196,50	705,80	1197,10	491,30	2,435	2,529	3,70	13,31	72,209	2,38	1118,42	1,030	1152	
ORTALAMALAR																				
10	5,0	4,76	57,50	63,30	63,00	63,1	1203,20	710,80	1204,10	493,30	2,439	2,511	2,93	13,62	78,52	2,48	1118,42	1,010	1130	
11	5,0	4,76	62,30	62,80	62,40	62,5	1200,60	708,50	1201,50	493,00	2,438	2,511	2,93	13,62	78,52	2,90	1030,7	1,025	1056	
12	5,0	4,76	62,70	62,30	62,50	62,5	1200,50	708,90	1201,00	492,10	2,440	2,511	2,93	13,62	78,52	3,02	1153,51	1,025	1182	
ORTALAMALAR																				
13	5,5	5,21	63,25	61,30	61,40	61,5	1204,00	712,90	1204,20	491,30	2,451	2,495	1,94	13,74	85,897	2,75	1109,65	1,053	1168	
14	5,5	5,21	62,40	62,00	62,50	62,3	1207,00	712,60	1207,30	494,70	2,440	2,495	1,94	13,74	85,897	2,40	926,09	1,030	954	
15	5,5	5,21	61,80	62,00	61,60	61,8	1204,10	712,50	1204,30	491,80	2,448	2,495	1,94	13,74	85,897	2,58	1074,56	1,043	1121	
ORTALAMALAR																				
16	6,0	5,66	69,00	62,80	62,50	62,6	1211,80	715,30	1212,10	496,80	2,439	2,478	1,49	14,32	89,6	3,05	1021,93	1,023	1045	
17	6,0	5,66	62,00	62,40	62,20	62,2	1207,50	713,10	1207,80	494,70	2,441	2,478	1,49	14,32	89,6	3,11	1035,09	1,033	1069	
18	6,0	5,66	61,50	62,00	61,90	61,8	1206,70	713,30	1207,10	493,80	2,444	2,478	1,49	14,32	89,6	3,22	1008,77	1,043	1052	
ORTALAMALAR																				
19	6,5	6,10	74,75	62,00	62,70	62,4	1213,50	716,50	1213,80	497,30	2,440	2,462	0,96	14,82	93,528	3,13	930,4	1,028	1056	
20	6,5	6,10	62,50	62,00	62,50	62,2	1212,10	715,30	1212,50	497,20	2,438	2,462	0,96	14,82	93,528	3,33	930,4	1,028	956	
21	6,5	6,10	62,60	62,10	62,20	62,3	1211,60	714,90	1212,00	497,10	2,437	2,462	0,96	14,82	93,528	3,73	930,4	1,028	961	
ORTALAMALAR																				
% 4,02	OPTIMUM BITÜM SONUÇLARI (Grafikten)																			
% 4,02	OPTIMUM BITÜM SONUÇLARI (Hesapla Gef hesapla)																			
BINDER DİZAYN KRİTERLERİ																				
Bitüm Özgü Ağı (Gb)	1,036																			
Bitüm Penetrasyonu	57,6																			
Agre. Bit. Absorb. (Pbe)	0,228																			
Agre. Elef. Öz. Ağı (Gef)	2,704																			
Hesapla	Agrega Kar. Hac. Öz. Ağı (Gsb) : 2,688																			
Hesapla	Agrega Kar. Zhr. Öz. Ağı (Gsa) : 2,719																			
Hesapla	Kaba Agrega Yüzdeleri (%K) : 58,6																			
Hesapla	İnce Agrega Yüzdeleri (%I) : 36,7																			
Hesapla	Filler Yüzdeleri (%F) : 4,7																			
Hesapla	Agrega Kar. Hac. Öz. Ağı (Gsb) : 2,688																			
Hesapla	Briketleri Agrega Miktarı (gr) : 1150																			
Hesapla	Filler Zhr. Öz. Ağı (Gf) : 2,724																			
Hesapla	Kaba Agrega Zhr. Öz. Ağı (Gk0) : 2,710																			
Hesapla	İnce Agrega Zhr. Öz. Ağı (Gk1) : 2,734																			
Hesapla	Filler Zhr. Öz. Ağı (Gf) : 2,724																			



TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ULUŞTIRMA LABORATUVARI



3 NO' LU GRUP MARSHALL DENEY FORMU

Kaplama Tipi : BINDER
Darbe Sayısı : 75*2

Malzemenin Tanımı : %100 Mermer Kaba Agr. + %50 Doğal İnce Agr. + %50 Kentsel İnce Agr. + %100 Doğal Filler Agr.

Briket No	Bitüm Y.üzdesi			Briket Y.üzdesi				Havadaki Ağırlık A	Sudaki Ağırlık C	Doğru Y.üzde B	Hacim cm ³	Hac.Özgülü Ağırlık Dp	Boşluk % Vh	VMA %	Asf. Dolu Vf	Akma mm	Stabilite Faktörü	Düzeltilmiş Stabilite Kg	Formüller	
	Wa	Wb	(gr)	1	2	3	Ort													
1	3,5	3,38	40,25	65,4	65,3	65,4	65,4	1183,90	671,40	1188,40	517,00	2,290	8,98	14,74	39,068	1,81	1324,56	0,954	1264	Wb:Y.üzde Bitüm V=B-C Dp=A/V
2	3,5	3,38	3,38	65,9	65,8	65,7	65,8	1185,40	673,30	1190,20	516,90	2,293	8,98	14,74	39,068	1,75	1074,56	0,947	1018	Wb:Y.üzde Bitüm V=B-C Dp=A/V
3	3,5	3,38	3,38	65,8	65,8	65,8	65,8	1184,00	676,80	1191,00	514,20	2,303	8,98	14,74	39,068	1,89	1144,74	0,947	1084	Wb:Y.üzde Bitüm V=B-C Dp=A/V
ORTALAMALAR																				
4	4,0	3,85	46,00	65,1	65,5	65,3	65,3	1190,00	684,10	1194,90	510,80	2,330	7,10	13,99	49,256	2,01	1214,91	0,956	1161	Gef = 100*(Wa+Wb) - Wa D1 = 100 + Wa
5	4,0	3,85	46,00	66,0	65,9	65,8	65,9	1190,30	684,10	1196,30	512,20	2,324	7,10	13,99	49,256	2,11	1223,68	0,945	1156	D1 = 100 + Wa
6	4,0	3,85	46,00	65,6	65,9	65,6	65,7	1189,60	685,20	1196,50	511,30	2,327	7,10	13,99	49,256	2,18	1241,23	0,949	1178	D1 = 100 + Wa
ORTALAMALAR																				
7	4,5	4,31	51,75	65,5	65,2	65,1	65,3	1195,60	685,70	1199,30	513,60	2,328	6,26	14,2	55,96	2,25	1232,46	0,956	1178	D1 = 100 + Wa
8	4,5	4,31	51,75	65,5	65,2	65,4	65,4	1195,60	685,60	1196,30	512,70	2,332	6,26	14,2	55,96	2,25	1232,46	0,956	1178	D1 = 100 + Wa
9	4,5	4,31	51,75	65,2	65,2	65,1	65,1	1196,10	689,00	1201,00	512,00	2,336	6,26	14,2	55,96	2,20	1271,93	0,960	1221	Vh = (D1 - Dp)*100
ORTALAMALAR																				
10	5,0	4,76	57,50	65,2	65,5	65,4	65,4	1199,60	688,80	1202,40	513,60	2,336	5,49	14,48	62,107	2,37	1426,09	0,954	1360	D1 = 100 + Wa
11	5,0	4,76	57,50	64,5	64,8	64,6	64,6	1201,50	690,90	1204,00	513,10	2,342	5,49	14,48	62,107	2,43	1140,35	0,951	1084	D1 = 100 + Wa
12	5,0	4,76	57,50	65,2	65,2	65,3	65,2	1201,60	688,90	1204,80	515,90	2,329	5,49	14,48	62,107	2,10	1337,72	0,958	1282	D1 = 100 + Wa
ORTALAMALAR																				
13	5,5	5,21	63,25	64,9	64,7	64,8	64,8	1206,40	695,90	1207,60	511,70	2,358	4,02	14,13	71,529	2,30	1232,46	0,968	1193	D1 = 100 + Wa
14	5,5	5,21	63,25	63,8	63,6	63,8	63,8	1206,00	693,50	1206,70	513,20	2,350	4,02	14,13	71,529	2,18	1394,74	0,993	1385	D1 = 100 + Wa
15	5,5	5,21	63,25	64,0	64,1	64,0	64,0	1206,00	695,90	1206,70	510,80	2,361	4,02	14,13	71,529	2,50	1267,54	0,988	1252	D1 = 100 + Wa
ORTALAMALAR																				
16	6,0	5,66	69,00	63,7	63,8	64,0	63,8	1211,10	702,40	1211,50	509,10	2,379	2,15	13,43	84,0	2,48	1271,93	0,993	1263	D1 = 100 + Wa
17	6,0	5,66	69,00	63,0	62,8	63,0	62,9	1209,20	704,30	1209,50	505,20	2,394	2,15	13,43	84,0	2,78	1302,63	1,015	1322	D1 = 100 + Wa
18	6,0	5,66	69,00	63,5	63,8	63,7	63,7	1209,80	703,60	1210,20	506,60	2,388	2,15	13,43	84,0	2,66	1285,09	0,995	1279	D1 = 100 + Wa
ORTALAMALAR																				
19	6,5	6,10	74,75	63,8	64,0	64,0	63,9	1215,20	705,70	1215,40	509,70	2,384	1,65	13,94	88,161	2,64	1171,1	0,990	1159	D1 = 100 + Wa
20	6,5	6,10	74,75	63,8	63,8	63,7	63,8	1215,90	705,90	1216,20	510,30	2,383	1,65	13,94	88,161	2,67	1188,6	0,993	1180	D1 = 100 + Wa
21	6,5	6,10	74,75	64,3	64,1	64,2	64,2	1215,90	706,30	1216,20	509,90	2,385	1,65	13,94	88,161	3,17	1324,6	0,983	1302	D1 = 100 + Wa
ORTALAMALAR																				
% 5.03	OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI(Grafikten)																			
% 5.03	OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI(Hesapla Gef hesapla)																			
BINDER DİZAYN KRİTERLERİ																				
Bitüm Özgül Ağı(Gb)	Kaba Agrega Y.üzdesi (%K) : 58,6 Kaba Agrega Zhr.Öz.Ağ (Gk0) 2,710																			
Bitüm Penetrasyonu	İnce Agrega Y.üzdesi (%) : 36,7 İnce Agr.(Doğal) Zhr.Öz.Ağ (Gk1) 2,734																			
Agre. Bit. Absorb.(Pbz)	Filler Y.üzdesi (%F) : 4,7 İnce Agr. (Kentsel) Hac.Öz.Ağ (G1-h) 2,269																			
Agre. Efek.Öz.Ağ(Gef)	Agrega Kar.Hac.Öz.Ağ (Gsb) : 2,601 Filler Zhr.Öz.Ağ (G1) 2,724																			
	Agrega Kar. Zhr. Öz.Ağ (Gsa) 2,709 Briketteki Agrega Miktan (gr) 1150																			

TOKAT KAZIÖSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ ULAŞTIRMA LABORATUVARI										TOKAT KAZIÖSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ ULAŞTIRMA LABORATUVARI															
4 NO' LU GRUP MARSHALL DENEY FORMU																									
Matzemenin Tanımı : %100 Doğal Kaba Agr. + %50 Doğal İnce Agr. + %50 Kentsel İnce Agr. + %100 Doğal Filler Agr.																									
Kaplama Tipi : BİNDER																									
Darbe Sayısı : 75*2																									
Briket No	Bitüm Yüzdeleri			Briket Yüzdeleri			Havadaki Ağırlık A	Sudaki Ağırlık C	Doğru Yüze Kuru Ağırlık B	Hesim cm ³ V	Hic. Özgü Ağırlık Dp	İlak. Teorik Öz. Ağırlık D _T	Boğluk % V _h	VMA %	Aşf. Dolu Boşluk Vf	Akma mm	Stabilite	Düzeltme Faktörü	Düzeltmiş Stabilité Kg	Formüller					
	W _a	W _b	(gr)	1	2	3															Ort				
1	3,5	3,38	40,25	65,6	65,3	65,4	65,4	1183,60	673,40	1189,50	516,10	2,293	2,521	14,61	38,495	2,72	1495,61	0,954	1427	W _a Y ₁ + z _e bitüm - W _b Y ₂ + z _e bitüm					
2	3,5	3,38		65,2	65,3	65,3	65,3	1184,00	673,40	1189,60	516,20	2,294				2,33	1521,19	0,956	1454	V = B - C					
3	3,5	3,38		66,0	65,9	65,9	65,9	1182,50	672,70	1187,70	515,00	2,298				2,17	1421,05	0,945	1343	D _p = A/V					
ORTALAMALAR															65,5							1408	100	G _{ef} = $\frac{100 \cdot W_a - W_b}{D_p}$	
4	4,0	3,85	46,00	66,6	66,7	66,5	66,6	1190,70	676,90	1194,70	517,80	2,300	2,504	14,78	45,206	2,45	1682,2	0,932	1568	D ₁ = $\frac{100 + W_a}{G_{ef}}$					
5	4,0	3,85		66,7	66,8	66,8	66,8	1185,90	675,30	1191,20	515,90	2,299				2,73	1716,1	0,928	1547	G _b					
6	4,0	3,85		66,6	66,7	67,0	66,8	1188,20	677,90	1193,50	515,60	2,304				2,51	1648,31	0,928	1530	D ₁ = $\frac{100 + W_a}{G_{ef}}$					
ORTALAMALAR															66,7							1548		V _h = $\frac{D_1 \cdot D_p}{100}$	
7	4,5	4,31	51,75	64,2	64,1	64,1	64,1	1195,20	690,10	1197,00	506,90	2,358	2,487	13,18	59,861	2,66	1597,46	0,985	1573	G _b					
8	4,5	4,31		64,5	64,8	64,5	64,6	1195,60	688,60	1198,00	509,40	2,347				2,71	1610,17	0,973	1567	D ₁					
9	4,5	4,31		63,8	63,8	63,6	63,7	1194,20	689,90	1195,80	505,90	2,361				2,37	1538,14	0,995	1530	V _h = $\frac{D_1 \cdot D_p}{100}$					
ORTALAMALAR															64,1							1557		D ₁	
10	5,0	4,78	57,50	64,4	64,5	64,4	64,4	1199,80	691,20	1201,20	510,00	2,363	2,470	13,44	66,612	2,45	1652,54	0,978	1616	G _b = $\frac{K\% + \frac{W_a}{G_{ef}} + \frac{E\%}{G_{ef}}}{G_{ef}}$					
11	5,0	4,78		63,8	64,0	63,7	63,8	1199,70	693,30	1200,80	507,50	2,364				2,78	1491,23	0,993	1481	100					
12	5,0	4,78		63,6	63,8	63,8	63,7	1200,50	692,60	1200,90	508,30	2,382				2,55	1508,47	0,995	1501	G _b = $\frac{K\% + \frac{W_a}{G_{ef}} + \frac{E\%}{G_{ef}}}{G_{ef}}$					
ORTALAMALAR															64,0							1533		G _{aa} = $\frac{K\% + \frac{W_a}{G_{ef}} + \frac{E\%}{G_{ef}}}{G_{ef}}$	
13	5,5	5,21	63,25	63,4	63,6	63,3	63,4	1204,70	699,10	1205,20	506,10	2,389	2,454	13,25	75,892	2,32	1496,3	1,003	1501	G _{aa} = $\frac{K\% + \frac{W_a}{G_{ef}} + \frac{E\%}{G_{ef}}}{G_{ef}}$					
14	5,5	5,21		63,5	63,4	63,2	63,4	1204,20	698,80	1204,70	505,90	2,380				2,70	1478,07	1,003	1483	100					
15	5,5	5,21		64,1	63,9	64,0	64,0	1204,60	696,30	1205,30	509,00	2,387				2,92	1521,93	0,988	1504	G _{aa} = $\frac{K\% + \frac{W_a}{G_{ef}} + \frac{E\%}{G_{ef}}}{G_{ef}}$					
ORTALAMALAR															63,61							1496		VMA = $100 - \frac{D_p \cdot 100}{G_{ef} \cdot (100 + W_a)}$	
16	6,0	5,66	69,00	64,1	64,5	64,5	64,4	1209,70	700,70	1210,20	509,50	2,374	2,438	13,70	80,9	2,85	1385,96	0,978	1355	V _f = $100x - \frac{VMA \cdot V_h}{VMA}$					
17	6,0	5,66		63,8	63,6	63,7	63,7	1209,60	700,60	1209,90	509,30	2,375				3,06	1403,51	0,995	1396						
18	6,0	5,66		63,7	63,7	63,7	63,7	1209,70	700,90	1210,30	509,40	2,375				3,15	1423,25	0,995	1416						
ORTALAMALAR															63,9							1389		V _f = $100x - \frac{VMA \cdot V_h}{VMA}$	
19	6,5	6,10	74,75	63,8	63,6	63,8	63,7	1213,90	704,60	1214,10	509,50	2,383	2,423	13,83	87,875	3,02	1412,3	0,995	1405						
20	6,5	6,10		63,7	63,5	63,6	63,6	1212,90	702,30	1213,10	510,80	2,375				3,68	1377,2	0,998	1374						
21	6,5	6,10		63,4	63,9	63,5	63,6	1211,60	705,00	1211,90	506,90	2,390				3,29	1355,3	0,998	1353						
ORTALAMALAR															63,6							1377		P _{ba} = $100x - \frac{(G_{ef} \cdot G_{sb})}{(G_{ef} \cdot G_{sb})}$	
% 4,78	OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Grafikten)																								
% 4,78	OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Hesapla Gef hesapla)																								
BİNDER DİZAYN KRİTERLERİ																									
Bitüm Özgü Ağırlık (G _b)	Kaba Agrega Yüzdeleri (%K)											58,6	Kaba Agrega Hac. Öz. Ağırlık (G _{k-h})	2,680	Kaba Agrega Zhr. Öz. Ağırlık (G _{k0})	2,714									
Bitüm Penetrasyonu	İnce Agrega Yüzdeleri (%)											36,7	İnce Agrega (Doğal) Hac. Öz. Ağırlık (G _{h-h})	2,684	İnce Agrega (Doğal) Zhr. Öz. Ağırlık (G _{h0})	2,734									
Agre. Bit. Absorb. (P _{be})	Filler Yüzdeleri (%F)											4,7	İnce Agre. (Kentsel) Hac. Öz. Ağırlık (G _{l-h})	2,269	İnce Agre. (Kentsel) Zhr. Öz. Ağırlık (G _{l0})	2,681									
Agre. Efek. Öz. Ağırlık (G _{ef})	Agrega Kar. Hac. Öz. Ağırlık (G _{sb})											2,596	Filler Zhr. Öz. Ağırlık (G _l)	2,724	Filler Zhr. Öz. Ağırlık (G _{l0})	2,724									
	Agrega Kar. Zhr. Öz. Ağırlık (G _{sa})											2,712	Briketeki Agreganın Miktarı (gr)	1150											



TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ULUŞTIRMA LABORATUVARI



5 NO' LU GRUP MARSHALL DENEY FORMU

Kaplama Tipi : BİNDER
Darbe Sayısı : 75*2

Malzemenin Tanımı : %100 Mermer Kaba Agr. + %75 Doğal İnce Agr. + %25 Kentisel İnce Agr. + %100 Doğal Filler Agr.

Briket No	Bitüm Yüzdesi			Briket Yüzdekliliği			Havadaki Ağırlık A	Sudaki Ağırlık C	Doğru Yüzey		Hacim em ³	Hac. Özgül Ağırlık Dp	Mak. Teorik Öz. Ağırlık D _r	Boşluk % V _h	VMA %	Asf. Dolu Boşluk V _f	Akrma mm	Stabilite	Düzeltme Faktörü	Düzeltimsiz Stabilite Kg	Formüller
	Wa	Wb	(gr)	1	2	3			Ort	Kuru Ağırlık B											
1	3,5	3,38	40,25	65,2	65,1	65,2	1185,30	687,50	1192,80	505,30	2,346	2,544	7,62	14,13	46,11	2,23	1096,49	0,958	1050	Wa*Yüzde bitüm + Wb*Yüzde Bitüm	
2	3,5	3,38	3,38	65,0	64,7	65,0	1184,90	688,10	1191,50	503,40	2,354	2,526	6,08	13,73	55,71	2,27	1197,37	0,963	1153	V=B-C	
3	3,5	3,38	3,38	63,9	64,1	63,8	1186,20	687,10	1191,90	504,80	2,350	2,544	7,62	14,13	46,11	2,27	1267,54	0,990	1255	Dp=A/V	
ORTALAMALAR																					
4	4,0	3,85	46,00	63,7	63,8	63,8	1191,00	694,90	1195,20	500,30	2,381	2,544	7,62	14,13	46,11	2,26	1187,13	0,993	1153	Gef = 100+Wa - Wa	
5	4,0	3,85	46,00	64,3	64,2	64,4	1190,60	690,90	1194,70	503,80	2,383	2,526	6,08	13,73	55,71	2,53	1128	0,980	1105	D ₁ = 100 + Wa	
6	4,0	3,85	46,00	63,4	63,5	63,4	1191,70	691,60	1193,80	502,20	2,373	2,544	7,62	14,13	46,11	2,37	1236,84	1,003	1241	D ₂ = 100 + Gef	
ORTALAMALAR																					
7	4,5	4,31	51,75	63,4	63,3	63,4	1196,40	700,40	1199,40	499,00	2,388	2,509	4,78	13,55	64,714	2,48	1324,56	1,003	1329	D ₃ = 100 + (D ₁ -Dp)*100	
8	4,5	4,31	51,75	63,6	63,7	63,5	1195,20	695,90	1197,20	501,30	2,384	2,509	4,78	13,55	64,714	3,04	1057,02	0,998	1055	V _h =	
9	4,5	4,31	51,75	62,7	62,9	62,8	1195,90	695,80	1197,40	501,60	2,384	2,509	4,78	13,55	64,714	2,40	1223,68	1,018	1246	D ₁	
ORTALAMALAR																					
10	5,0	4,76	57,50	63,1	63,0	63,2	1200,40	703,50	1200,80	497,30	2,414	2,492	3,52	13,41	73,753	3,17	1241,23	1,013	1257	D ₁	
11	5,0	4,76	57,50	63,2	63,1	63,2	1200,60	702,20	1202,00	499,80	2,402	2,492	3,52	13,41	73,753	2,95	1359,65	1,005	1366	Gsb =	
12	5,0	4,76	57,50	62,7	62,5	62,6	1201,90	700,90	1202,50	501,60	2,396	2,492	3,52	13,41	73,753	2,84	1192,98	1,023	1220	K% + I% + E% G _{hh} G _{ih} G _{fz}	
ORTALAMALAR																					
13	5,5	5,21	63,25	62,2	62,3	62,2	1204,80	709,30	1205,30	496,00	2,429	2,475	1,95	12,99	85,022	3,39	1258,77	1,033	1300	Gsb =	
14	5,5	5,21	63,25	62,8	62,7	62,8	1205,80	708,70	1206,40	497,70	2,423	2,475	1,95	12,99	85,022	3,12	1153,51	1,018	1174	Gsb =	
15	5,5	5,21	63,25	61,9	62,1	62,2	1205,00	709,40	1205,40	496,00	2,429	2,475	1,95	12,99	85,022	2,80	1280,7	1,035	1326	G _{hh} G _{ih} G _{fz}	
ORTALAMALAR																					
16	6,0	5,66	69,00	62,4	62,5	62,4	1210,80	711,50	1211,00	499,50	2,424	2,459	1,49	13,56	89,0	3,10	1230,99	1,028	1267	G _{hh} G _{ih} G _{fz}	
17	6,0	5,66	69,00	62,8	62,3	62,4	1209,60	710,20	1209,90	499,70	2,421	2,459	1,49	13,56	89,0	3,25	1153,51	1,028	1186	G _{hh} G _{ih} G _{fz}	
18	6,0	5,66	69,00	63,0	62,7	62,9	1208,10	709,70	1208,30	498,60	2,423	2,459	1,49	13,56	89,0	3,23	1126,11	1,015	1143	VMA = 100 - Gsb(100+Wa)	
ORTALAMALAR																					
19	6,5	6,10	74,75	62,4	62,5	62,2	1211,40	710,70	1211,50	500,80	2,419	2,459	1,49	13,56	89,0	3,22	1151,686667	1,028	1118	Vf = 100k - VMA-V _h	
20	6,5	6,10	74,75	62,6	62,7	62,8	1211,20	711,10	1211,40	500,30	2,421	2,459	1,49	13,56	89,0	3,23	1118,4	1,020	1141	Vf = 100k - VMA-V _h	
21	6,5	6,10	74,75	62,4	62,3	62,4	1210,00	710,00	1210,10	500,10	2,420	2,459	1,49	13,56	89,0	2,98	1057,0	1,028	1087	Pha = 100k - (Gef - Gsb) - xG _b	
ORTALAMALAR																					
% 4,35	OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI(Grafikten)																				
% 4,35	OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI(Hesapla Gef hesapla)																				
BİNDER DİZAYN KRİTERLERİ																					
Bitüm Özgül Ağırlığı (G _b)	1,036																				
Bitüm Penetrasyonu	57,6																				
Agr. Bir. Absorb. (P _{ab})	0,526																				
Agr. Efek. Öz. Ağırlığı (G _{sf})	2,680																				
Hesapla	Kaba Agrega Yüzdesi (%K) : 58,6																				
	İnce Agrega Yüzdesi (%) : 36,7																				
	Filler Yüzdesi (%F) : 4,7																				
	Agrega Kar. Hac. Öz. Ağırlığı (G _{sb}) : 2,644																				
	Agrega Kar. Zhr. Öz. Ağırlığı (G _{sa}) : 2,715																				
	Briketli Agrega Miktarı (gr) : 1150																				
	Kaba Agrega Zhr. Öz. Ağırlığı (G _{k0}) : 2,710																				
	İnce Agrega (Doğal) Zhr. Öz. Ağırlığı (G _{ki}) : 2,734																				
	İnce Agrega (Kentisel) Zhr. Öz. Ağırlığı (G _{ki}) : 2,681																				
	Filler Zhr. Öz. Ağırlığı (G _i) : 2,724																				
	Briketli Agrega Miktarı (gr) : 1150																				



TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ULAŞTIRMA LABORATUVARI



6 NO' LU GRUP MARSHALL DENEY FORMU

Kaplıma Tipi : BINDER
Darbe Sayısı : 75*2

Malzemenin Tanımı : %100 Doğal Kaba Agr. + %75 Doğal İnce Agr. + %25 Kentisel İnce Agr. + %100 Doğal Filler Agr.

Briket No	Briket Yüzeleşliği				Havadaki Ağırlık A	Sudaki Ağırlık C	Doğru Yüzeleşme Kuru Ağırlık B	Hacim cm ³	Hac. Özgü Ağırlık		Boşluk %	VMA %	Asf. Dolu Boşluk Vf	Akma mm	Stabilite	Düzeltilme Faktörü	Düzeltme Stabilitesi Kg	Formüller
	Wa	Wb	(gr)	1					2	3								
1	3.5	3.38	40,25	65,4	65,8	65,7	65,6	1184,70	685,10	1191,40	506,30	2,340	2,59	1635,59	0,951	1555	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
2	3.5	3.38		65,5	65,3	65,4	65,4	1185,00	682,40	1191,30	508,90	2,329	2,25	1447,37	0,954	1381	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
3	3.5	3.38		65,1	65,2	65,6	65,3	1185,00	684,50	1190,10	505,60	2,344	2,66	1601,69	0,956	1531	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
ORTALAMALAR																		
4	4,0	3,85	46,00	63,8	63,7	63,9	63,8	1190,50	692,40	1193,20	500,80	2,377	1,71	1285,09	0,993	1276	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
5	4,0	3,85		64,2	64,1	64,2	64,2	1190,60	693,00	1194,20	501,20	2,375	2,12	1280,7	0,983	1259	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
6	4,0	3,85		64,3	64,2	64,2	64,2	1190,10	690,70	1193,30	502,60	2,368	2,32	1166,67	0,983	1147	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
ORTALAMALAR																		
7	4,5	4,31	51,75	63,4	63,4	63,5	63,4	1196,20	694,20	1197,40	503,20	2,377	2,65	1271,93	1,003	1276	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
8	4,5	4,31		63,3	63,6	63,3	63,4	1194,80	694,70	1196,00	501,30	2,383	2,49	1425,44	1,003	1430	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
9	4,5	4,31		63,3	63,1	63,2	63,2	1195,30	698,00	1196,00	498,00	2,400	2,70	1293,86	1,008	1304	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
ORTALAMALAR																		
10	5,0	4,76	57,50	63,0	62,9	62,9	62,9	1201,70	703,60	1202,20	498,60	2,410	2,61	1328,95	1,015	1349	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
11	5,0	4,76		62,7	62,9	62,7	62,8	1200,70	705,20	1201,40	496,20	2,420	3,02	1324,56	1,018	1348	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
12	5,0	4,76		63,1	63,1	63,1	63,1	1200,30	702,90	1200,70	497,80	2,411	2,93	1328,95	1,010	1342	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
ORTALAMALAR																		
13	5,5	5,21	63,25	61,9	61,8	61,8	61,8	1203,10	707,10	1203,40	496,30	2,424	3,02	1297	1,043	1353	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
14	5,5	5,21		62,7	62,7	63,0	62,8	1204,90	706,10	1205,40	499,30	2,413	3,01	1285,09	1,018	1308	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
15	5,5	5,21		62,4	62,2	62,3	62,3	1203,00	705,10	1203,40	498,30	2,414	2,85	1350,88	1,030	1391	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
ORTALAMALAR																		
16	6,0	5,66	69,00	63,1	63,2	63,2	63,2	1210,60	709,30	1211,10	501,80	2,413	2,96	1232,46	1,008	1242	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
17	6,0	5,66		63,6	63,4	63,5	63,5	1210,40	706,90	1211,00	504,10	2,401	3,14	1235	1	1235	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
18	6,0	5,66		62,8	63,1	62,9	62,9	1209,70	709,00	1210,10	501,10	2,414	3,12	1201,75	1,015	1220	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
ORTALAMALAR																		
19	6,5	6,10	74,75	62,8	63,1	62,8	62,9	1210,90	709,50	1211,10	501,60	2,414	3,15	1109,7	1,015	1126	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
20	6,5	6,10		62,6	62,5	62,5	62,5	1209,90	707,20	1210,10	502,90	2,408	3,38	1245,6	1,025	1277	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
21	6,5	6,10		63,1	62,9	63,0	63,0	1212,50	707,60	1212,80	505,20	2,400	3,39	1179,8	1,013	1195	1000W _a / (W _a + W _b) - W _c	
ORTALAMALAR																		
% 4.33	OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Grafitlen)																	
% 4.33	OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Hesapla Gef hesapla)																	
% 4.33	OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Hesapla Gef hesapla)																	
BINDER DİZAYN KRİTERLERİ																		
Bitüm Özgü Ağırlığı (G _b)	1,036																	
Bitüm Penetrasyonu	57,6																	
Agr. Bit. Absorb. (P _b)	0,572																	
Agr. Eflek. Öz. Ağırlığı (G _{ef})	2,678																	
Hesapla																		
Kaba Agrega Yüzdeleri (%K)	58,6																	
İnce Agrega Yüzdeleri (%I)	36,7																	
Filler Yüzdeleri (%F)	4,7																	
Agr. Kar. Hac. Öz. Ağırlığı (G _{sb})	2,639																	
Agr. Kar. Zhr. Öz. Ağırlığı (G _{sa})	2,717																	
Birketteki Agrega Miktan (gr)																		
Bitüm Özgü Ağırlığı (G _b)	2,680																	
İnce Agrega Yüzdeleri (%I)	2,684																	
İnce Agrega (Doğal) Hac. Öz. Ağırlığı (G _{i-h})	2,269																	
İnce Agrega (Kentisel) Hac. Öz. Ağırlığı (G _{k-h})	2,269																	
Filler Zhr. Öz. Ağırlığı (G _i)	2,724																	
Filler Zhr. Öz. Ağırlığı (G _k)	2,724																	
Birketteki Agrega Miktan (gr)	1150																	

8. ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı - Soyad: Erdinç Halis ALAKARA

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Yeri: Kırıkkale

Medeni Durumu: Bekar

Tel: +90 356 252 16 16 / 2924

E-posta: erdinchalis.alakara@gop.edu.tr

Yazışma Adresi: Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü 60150 Tokat / TÜRKİYE

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale	2017
Lise	Pursaklar Lisesi, Ankara	2013

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2018 - Halen	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

ALAKARA E. H., AĞAOĞLU M. N., “Tokat İlinde Oluşan Mermer Atıklarının Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılabilirliğinin İncelenmesi”, 1st ICIVILTECH 2019 Symposium, AFYON, TÜRKİYE, 23-25 Ekim 2019.