

67002

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TORUL KALKER TAŞOCAĞI AGREGALARININ ASFALT BETONU
İÇERSİNDEKİ PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

İnş. Müh. Şeref ORUÇ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

" İnşaat Yüksek Mühendisi "

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04.08.1997

Tezin Savunma Tarihi : 29.08.1997

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Fazıl ÇELİK

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKIROĞLU

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Mustafa AYTEKİN

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Fazıl ARSLAN

AĞUSTOS 1997

TRABZON

ÖNSÖZ

K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, bitümlü sıcak karışımdaki performansını belirlemek amacıyla seçilen Torul kalker ocağı agregası ve bağlayıcı olarak belirlenen asfalt çimentosu kalite kontrol deneylerine tabi tutulmuş ve bu malzemelerin Marshall metoduna göre karışım dizaynı yapılarak seçilen agreganın asfalt içerisindeki performansı belirlenmiştir.

Tez çalışmalarımın her aşamasında bana yön gösteren ve yardımlarını esirgemeyen yönetici hocam sayın Doç. Dr. Fazıl ÇELİK'e içtenlikle teşekkür eder, saygılar sunarım.

Burada, laboratuvar çalışmalarımda bana yardımcı olan Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü Araştırma Başmühendisliği elemanlarına teşekkürü bir borç bilirim.



Trabzon, Ağustos 1997

Şeref ORUÇ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
TABLO LİSTESİ	IX
SEMBOL LİSTESİ	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Yol Üstyapısında Kullanılan Agregalar.....	2
1.2.1. Agregaların Sınıflandırılması.....	2
1.2.1.1. Doğal Agregalar.....	3
1.2.1.2. Suni (Yapay) Agregalar.....	5
1.2.2. Bitümlü Kaplamalar Yönünden Agregalar.....	5
1.3. Bitümlü Bağlayıcılar.....	6
1.3.1. Asfaltlar.....	7
1.3.1.1. Asfalt Çimentoları.....	8
1.3.1.2. Katbek (Likit) Asfaltlar.....	9
1.3.1.3. Asfalt Emülsiyonları.....	10
1.3.1.4. Doplar.....	11
1.3.2. Katranlar.....	12
1.4. Bitümlü Karışımlar.....	13
1.4.1. Bitümlü Karışımların Sınıflandırılması.....	14
1.4.2. Bitümlü Karışımların Dizaynı.....	15
1.4.2.1. Bitümlü Karışımların Dizayn Amaçları.....	15
1.4.2.2. Bitümlü Karışımların Dizaynında Temel İlkeler.....	16
1.4.3. Bitümlü Karışımlardan Beklenen Fiziksel ve Mekanik Özellikler.....	20
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	24
2.1. Agregalar Üzerinde Yapılan Deneyler.....	24

2.1.1.	Elek Analizi.....	25
2.1.2.	Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyleri.....	27
2.1.3.	Aşınma (Los Angeles) Deneyi.....	29
2.1.4.	Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi (Donma Deneyi).....	31
2.1.5.	Su Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi (Soyulma Deneyi).....	33
2.2.	Bitümlü Bağlayıcılar Üzerinde Yapılan Deneyler.....	34
2.2.1.	Özgül Ağırlık Deneyi.....	35
2.2.2.	Kıvam Deneyleri.....	36
2.2.2.1.	Viskozite Deneyi.....	37
2.2.2.2.	Penetrasyon Deneyi.....	37
2.2.2.3.	Yüzdürme Deneyi.....	38
2.2.2.4.	Yumuşama Noktası Deneyi.....	39
2.2.3.	Düktilite Deneyi.....	39
2.2.4.	Yanma (Parlama) Noktası Deneyi.....	40
2.2.5.	Damıtma (Distilasyon) Deneyi.....	40
2.2.6.	Çözünürlük Deneyi.....	41
2.3.	Marshall Metodu ile Karışım Dizaynı.....	42
2.3.1.	Agrega Granülometrisinin Belirlenmesi.....	42
2.3.2.	Agrega ve Bitümün Özgül Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	43
2.3.3.	Agrega ve Bitüm Miktarlarının Belirlenmesi.....	43
2.3.4.	Briketlerin Hazırlanması ve İlgili Hesaplamalar.....	45
2.3.5.	Briketlerin Yoğunluk ve Boşluk Analizleri.....	46
2.3.6.	Stabilite ve Akma Değerlerinin Belirlenmesi.....	49
2.3.7.	Optimum Bağlayıcı Yüzdesinin Belirlenmesi.....	49
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	51
3.1.	Agregalar Üzerinde Yapılan Deneylerden Elde Edilen Bulgular ve İrdeleme...51	
3.2.	Asfalt Çimentosu Üzerinde Yapılan Deneylerden Elde Edilen Bulgular ve İrdeleme.....	56
3.3.	Marshall Metodu ile Yapılan Karışım Dizaynından Elde Edilen Bulgular ve İrdeleme.....	57
3.3.1.	Karışımında Kullanılan Agregas ve Bitüm Miktarları.....	57
3.3.2.	Yoğunluk, Boşluk ve Stabilite Analizleri.....	58

3.3.3.	Marshall Metodu İle Karışım Dizaynından Elde Edilen Grafikler ve Optimum Bitüm Yüzdesindeki Deneş Sonuçları.....	60
4.	SONUÇLAR.....	66
5.	KAYNAKLAR.....	67
6.	ÖZGEÇMİŞ.....	70



ÖZET

Ülke kalkınmasında çok önemli bir işleve sahip karayollarının yapımı, bilgi, deneyim, disiplin ve titizlik isteyen oldukça önemli bir konudur. Karayolu yapımının en önemli kısmını, yapım maliyeti çok yüksek olan bitümlü kaplama karışımları oluşturmaktadır. Büyük masraflar yapılarak inşa edilen bitümlü kaplamaların, projede öngörülen süreden önce bozulmaları kaynak israfına neden olmaktadır. O nedenle bitümlü kaplamaların yapımında, kullanılacak malzemenin seçiminden kaplamanın sıkıştırılmasına kadar yapımın her aşamasında kalite kontrol deneylerinin mutlaka yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, bitümlü kaplama karışımındaki performansını belirlemek üzere seçilen Torul kalker ocağı agregası ve karışım türüne bağlı olarak belirlenen bağlayıcı üzerinde gerekli kalite kontrol deneyleri yapıldıktan sonra Marshall metodu ile sıcak karışım dizaynı yapılmış, elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve seçilen agreganın karışım içerisindeki performansı belirlenmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde, konu ile ilgili genel bilgiler, ikinci bölümde agregası ve bağlayıcı üzerine uygulanan deney yöntemleri ve Marshall metodu ile sıcak karışım dizaynı anlatılmakta, üçüncü bölümde uygulanan deneylerden elde edilen bulgular verilmekte ve sonuçlar irdelenmekte, dördüncü bölümde ise sonuçlar ve öneriler verilmektedir.

Anahtar Kelimeler : Agregası, bitüm, bitümlü malzemeler, bitümlü karışımlar, asfalt betonu

SUMMARY

AN INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF TORUL LIMESTONE AGGREGATES IN ASPHALT CONCRETE

Construction of highways is very important for development of a country. It requires knowledge, experience, discipline, and fastidiousness. Bituminous pavement mixes whose constructing are the most important part of highways that cost very high. If the bituminous pavement is spoiled before period design. It causes a great deal of economic loss. Because of this reason, the quality control tests must be carried out at each phase.

In this study, Torul limestone aggregate is chosen for determining performance in bituminous pavement mixes and bituminous binder with respect to mixture type and the quality control tests are carried out. Then, hot mixture design is prepared by Marshall method. After analysing the results, performance is determined in the mixture of chosen aggregate.

In chapter one, general information associated with the subject is outlined. In chapter two, test methods in practice about aggregate and binder, and hot mixture design with Marshall method are given. In chapter three, the results are given and discussed. In chapter four, conclusions and suggestions are given. This chapter is followed by the list of references.

Key Words : Aggregate, bitumen, bituminous materials, bituminous mixtures, asphalt concrete

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.	: Granülometri eğrisi.....	53
Şekil 2.	: $D_p - W_a$ grafiği.....	60
Şekil 3.	: Stabilite - W_a grafiği.....	61
Şekil 4.	: Asfaltla dolu boşluk - W_a grafiği.....	61
Şekil 5.	: Boşluk yüzdesi - W_a grafiği.....	62
Şekil 6.	: $VMA - W_a$ grafiği.....	62
Şekil 7.	: Akma - W_a grafiği.....	63



TABLO LİSTESİ

Tablo 1.	: Katbek asfalt tipleri.....	9
Tablo 2.	: Asfalt emülsiyonlarının viskozitelerine göre türleri.....	11
Tablo 3.	: Agreganın granülometrisi.....	25
Tablo 4.	: Dane boyutlarına göre malzeme miktarları.....	26
Tablo 5.	: Standart elek serisi.....	26
Tablo 6.	: Deney numunelerinin sınıflandırılması.....	30
Tablo 7.	: Numune sınıflarına göre küre sayısı ve yükleme ağırlıkları.....	30
Tablo 8.	: Deney için gerekli numune boyut ve miktarları.....	32
Tablo 9.	: Agreganın donma kaybı.....	33
Tablo 10.	: Penetrasyon değerlerine göre kabul edilen farklar.....	38
Tablo 11.	: Her briket için dane boyutlarına göre alınan agreganın miktarı.....	44
Tablo 12.	: Marshall stabilite faktörleri.....	50
Tablo 13.	: Karışım granülometrisi ve şartname limitleri.....	51
Tablo 14.	: Kaba agreganın özgül ağırlıkları ve su emmesi.....	54
Tablo 15.	: İnce agreganın özgül ağırlıkları ve su emmesi.....	54
Tablo 16.	: Mineral fillerin özgül ağırlığı.....	54
Tablo 17.	: Agreganın aşınma kaybı.....	55
Tablo 18.	: Asfalt çimentosunun özgül ağırlığı.....	56
Tablo 19.	: Asfalt çimentosunun penetrasyonu.....	56
Tablo 20.	: Asfalt çimentosunun duktilitesi.....	56
Tablo 21.	: Asfalt çimentosu içindeki yabancı madde miktarı.....	57
Tablo 22.	: Marshall deney formu.....	59
Tablo 23.	: Şartname dizayn kriterleri.....	65

SEMBOL LİSTESİ

- A : Briketin havadaki ağırlığı
a : 10 No. lu elekten geçmeyen agreganın ağırlıkça yüzdesi
B : Briketin doygun yüzey-kuru ağırlığı
b : 10 No. ile 200 No. lu elek üzerinde kalan agreganın ağırlıkça yüzdesi
C : Briketin sudaki ağırlığı
c : 200 No. dan geçen agreganın yüzdesi
D_p : Briketin hacim özgül ağırlığı
D_T : Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı
%F : Fillerin ağırlıkça yüzdesi
f : 0.08 mm'den geçen (filler) agregaların ağırlıkça yüzdesi
G : 6.3 mm'den büyük agregaların ağırlıkça yüzdesi
G_{sa} : Agreganın zahiri özgül ağırlığı
G_{sb} : Agreganın hacim özgül ağırlığı
G_{kb} : Kaba agreganın hacim özgül ağırlığı
G_{ib} : İnce agreganın hacim özgül ağırlığı
G_{ka} : Kaba agreganın zahiri özgül ağırlığı
G_{ia} : İnce agreganın zahiri özgül ağırlığı
G_{fa} : Fillerin zahiri özgül ağırlığı
G_{ef} : Agreganın efektif özgül ağırlığı
G_b : Bitümün özgül ağırlığı
%İ : İnce agreganın ağırlıkça yüzdesi
K : Zenginlik modülü
%K : Kaba agreganın ağırlıkça yüzdesi
P : Agreganın ağırlıkça yüzdesi cinsinden bağlayıcı oranı
P_{ba} : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak emilen bitüm miktarı
P_{be} : Agreganın yüzdesi olarak efektif bitüm miktarı
%P : Ağırlıkça yüzde geçen
S : 6.3 mm - 0.315 mm arasında kalan agregaların ağırlıkça yüzdesi
s : 0.315 - 0.08 mm arasında kalan agregaların ağırlıkça yüzdesi
V : Briketin hacmi

- V_h : Briketteki boşluk yüzdesi
 V_f : Briketteki asfaltla dolu boşluk yüzdesi
VMA: Agregalar arası boşluk yüzdesi
 W_a : Agregaların ağırlığına göre bitüm yüzdesi
 W_b : Normal bitüm yüzdesi
 α : Agreganın özgül ağırlığı ile değişen bir katsayı
 Σ : Agreganın özgül yüzey-alanı



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Tüm ülkeye dengeli şekilde yayılmış, yeterli uzunlukta, fiziki ve geometrik standartları iyi bir yol ağının oluşturulması, dolayısıyla böyle bir yol ağının sağladığı erişebilirlik ve ulaşım kolaylığı, çevre ve ülke için çok yönlü kalkınma bakımından son derece önemli ve gereklidir (1).

Kalkınmadaki rolü ve yapım maliyetinin yüksek olması bakımından çok özel ilgi gerektiren ve çok karmaşık bir konu olan yol konusunda ülkemizde ve diğer ülkelerde bir takım çalışmalar yapılmış ve özellikle yol üstyapısının projelendirilmesine yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. En verimli sonucun alınabilmesi amacıyla gelişmelere ve yeniliklere açık olan yol konusundaki çalışmalar halen tüm hızıyla devam etmektedir.

Yol gövdesi altyapı ve üstyapı olmak üzere iki kısımdan oluşur. Altyapı, toprak işleri (yarma ve dolgu) sonunda projeye uygun olarak oluşturulan tesviye yüzeyinin altında kalan kısmı yani taban zeminidir. Üstyapının performansı taban zemininin fiziksel özellikleri ve durumu ile doğrudan ilişkilidir. Bu bakımdan her zaman istenilen şartları sağlaması gerekir. Üstyapı ise trafik yüklerini taban zeminine dağıtan tabakalı bir yapı olup, yolun ekonomik ömrü boyunca üzerinden geçecek olan trafiği büyük deformasyonlara, çatlamalara maruz kalmadan, çevre ve iklim şartlarının etkisine dayanıklı olarak taşıyabilecek şekilde projelendirilmiş kısımdır (2,3).

Yol üstyapısı, "Rijit Üstyapı" ve "Esnek Üstyapı" olmak üzere iki farklı şekilde inşa edilebilir. Rijit üstyapıda kaplama tabakası, agrega ve çimento karışımından meydana gelir. Esnek üstyapıda ise kaplama tabakası, genel olarak agrega ile değişik kökenli bitümlü (hidrokarbonlu) bağlayıcıların karışımından meydana gelir. Bir çok üstünlükleri nedeniyle bitümlü kaplamalar tercih edilirler.

Sürekli olarak trafik yüklerinin ve doğal şartların etkisi altında olan bitümlü kaplamaların projelendirilmesi, bitümlü kaplamaların çok büyük masraflar yapılarak elde edilmesinden dolayı projede öngörülen sürede bozulmadan hizmet verebilmesi bakımından oldukça önemli bir konudur.

Karayolu yapımının en önemli kısmını teşkil eden bitümlü kaplama karışımlarının iki ana bileşeni bitüm ve agregadır. Kaplamanın niteliğini belirleyen en önemli unsur bu iki

malzemenin özelliği ve karışım dizaynıdır. Bu bakımdan karışımında kullanılacak malzemeyi tanımak ve özelliklerini belirlemek, karışım oranlarını tespit etmek ve elde edilen karışımın performansını ölçmek gerekir. Bütün bunların yapılabilmesi ise uygulanan deney ve dizayn yöntemlerinin bilinmesi ve titizlikle tatbik edilmesi ile mümkün olacaktır.

Karadeniz Teknik Üniversitesi'nin en eski Bölümlerinden birisi olan ve 42 yıllık geçmişe sahip İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yol üstyapısı ile ilgili deney düzenekleri bugüne kadar kurulamamış ve bitümlü karışım kaplamalarının dizaynı ve uygulamasına yönelik laboratuvar çalışmaları yapılamamıştır. Son bir kaç yıldır yurtdışından getirilen deney aletleri, bu çalışmayla birlikte faal hale getirilmiş, deney düzenekleri kurulmuş ve çalışmada adı geçen deney yöntemlerinin hemen hemen tamamının uygulaması yapılmıştır. Böylece yapılan çalışma ile birlikte yol üstyapısı ile ilgili deneylerin yapılabildiği ulaştırma laboratuvarı, faal hale getirilmiştir.

1.2. Yol Üstyapısında Kullanılan Agregalar

Bitümlü karışım kaplamalarının iki esas malzemesinden birisi agregadır. En geniş tarifıyla agrega, kum, çakıl, kırmataş, cüruf ve diğer mineral bileşiklerden ibaret olup bağlayıcı bir ortamda, bitümlü bir karışım, portland çimentosu betonu, harç, makadam, mastik ve benzeri uygulamalar için bir araya getirilmiş veya bağlayıcısız bir ortamda kullanılmak üzere (demir yollarında balast malzemesi gibi) bir araya getirilmiş malzeme olarak tanımlanır (4).

Burada, kaplamanın başarısına doğrudan etki eden ve yol inşaatının ana elemanı olan agreganın, daha yakından tanınması maksadıyla oluşum itibariyle incelenmesine gerek duyulmuş ve bitümlü kaplamalar yönünden değerlendirilmesi yapılmıştır.

1.2.1. Agregaların Sınıflandırılması

Yol inşaatında kullanılan agregalar, ya doğal olarak oluşmuş kayalardan ya da metalurji endüstrisinde açığa çıkan cüruflardan elde edilirler. Bu şekilde elde edilen agregaları, köken itibariyle "Doğal Agregalar" ve "Sunı (yapay) Agregalar" olarak ikiye ayırmak mümkündür.

1.2.1.1. Doğal Agregalar

Doğal olarak oluşmuş kayalardan fiziksel yollarla doğrudan doğruya elde edilen kırmataş, çakıl ve kum malzemeleridir. Doğal agregalar oluştukları doğal kayalar itibariyle sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırmanın daha iyi anlaşılabilmesi için birkaç jeolojik tanımın bilinmesinde yarar vardır (5,6).

Kaya : Bir veya birkaç çeşit mineralin bir araya gelmesi sonucu oluşmuş katı bir maddedir.

Mineral : Doğal yollarla oluşan, genellikle homojen kristal yapısı olan ve kimyasal formülle gösterilebilen inorganik maddedir. Kayalardaki mineraller, oksijen, silisyum, alüminyum, demir, magnezyum, kalsiyum, sodyum, potasyum ve daha az miktarda bulunan diğer elementlerdir.

Kayalar oluşumlarına göre üç gruba ayrılırlar.

1. Püskürük (mağmatik) kayalar.
2. Tortul (sedimanter) kayalar.
3. Metamorfik (başkalaşım) kayalar.

1. Püskürük (mağmatik) kayalar : Yer kabuğunun derinliklerinde bulunan mağmanın soğuyarak katılaşması ile oluşurlar ve kristal bünyelidirler. Katılaşmanın yer yüzünde olması neticesinde oluşan dış püskürük kayalar, ani soğumadan dolayı küçük kristalli, derinlerdeki katılaşmadan oluşan iç püskürük kayaları yavaş soğudukları için iri kristallidirler. Örneğin, bazalt, andezit dış püskürük, granit, gabro derinlik taşı; granitporfir, aplitler, pegmatitler damar taşlarıdır. Kimyasal yapılarına göre de asit ve baz bünyeli olarak ayrılırlar. Asit bünyeli kayalar, bileşimlerinde serbest kuvarz bulunan, oldukça açık renkli ve özgül ağırlıkları 2.75 t/m^3 ten az olan malzemelerdir. Baz bünyeliler ise, bileşimlerinde kuvarz bulunmayan, koyu renkli ve özgül ağırlıkları genelde 2.75 t/m^3 ten fazla olan malzemelerdir. (Diorit, Diabaz, Grafit, Trakit ve Bazalt gibi) (5,7).

Bütün mağmatik kayalar, açık yüzeyleri ve içten minerallerin kimyasal değişimi ile ayrışmaya uğrarlar. Ocaktan alındığı zaman sağlam halde bulunan bir kayanın, yapımında kullanıldığı yolun ömrü boyunca bozulma ihtimali hemen hemen yoktur. Fakat, yarı ayrışmış halde iken agrega olarak kullanılan bir kaya zamanla özelliklerini kaybedebilir. Böyle bir kaya yol inşaatında kullanılmamalıdır (8).

2. Tortul (sedimanter) kayalar : Evvelce mevcut her türlü kayanın dağılması, bu dağılan parçaların veya eriyiklerin nakledilmesi, deniz veya göl gibi sedimantasyon havzalarında tortulaşması (çökmesi) ve daha sonra bunların katılaşması sonucu oluşan taşlara tortul kayalar denir. Tortul kayaların başlıca özelliği tabakalı ve içlerinde fosil ve canlıların iz ve kalıplarının bulunabilmesidir. Tortul kayalar oluşum tarzlarına göre üç gruba ayrılırlar.

- a. Mekanik (klasik) tortul kayalar
- b. Kimyasal tortul kayalar
- c. Organik tortul kayalar

a. Mekanik (klasik) tortul kayalar : Yerkabuğunda mevcut taşların çeşitli nedenlerle ufalanıp parçalanması ve sonra bu parçaların su ve rüzgar gibi etkenlerle çukur yerlerdeki sular içinde birikmesi ve parçaların diyajenetik (bir nevi çimentolaşma) olaylarla birleşip katılaşması ile oluşurlar. Örneğin kumtaşı (gre), konglomera, kalker, marn birer tortul kayadır. Ayrıca parçalar birbirleriyle birleşmemiş halde bulunarak doğrudan doğruya kum ve çakıl gibi agrega ocakları teşkil edebilirler.

b. Kimyasal tortul kayalar : Çözünebilen minerallerin, çözeltideki suyun uçması, çöktürücü bir maddenin karışması ile çözeltiden ayrılıp çökmeleri sonucunda oluşurlar. Bu grupta bulunan kayalar daha ziyade kayanın kimyasal bileşimine dayanarak karbonatlı (kalkerler), silisli (kimyasal çörtler), demirli, fosfatlı ve tuzlu olmak üzere gruplara ayrılabilirler.

c. Organik tortul kayalar : Bunların oluşumunda esas rolü canlılar oynar. Organik tortul kayalar, karbonatlı (organik kalkerler), silisli veya karbonik (kömürler) olabilirler.

3. Metamorfik (başkalaşım) kayalar : Bunlar püskürük veya tortul kayaların yüksek ısı, yüksek basınç, su buharı ve çeşitli bileşimdeki gazlar etkisi veya mekanik olarak şekil değiştirmesi ile değişik bir yapı-doku ve minerolojik bileşim kazanması sonucunda oluşurlar. Metamorfizma sonunda ya taşın mineralleri kristal şeklini değiştirir veya eski minerallerin yerine yeni mineraller teşkil eder. Bütün bu hallerde taşın kimyasal bileşimi aynı kalabildiği gibi madde ilavesi veya madde eksilmesi olabilir. Metamorf taşlara örnek olarak verilebilecek mermerler, kalkerlerin değişiminden meydana gelir.

1.2.1.2. Suni (Yapay) Agregalar

Bitümlü karışım kaplamalarında kullanılmak üzere endüstriyel işlemler sonunda elde edilen suni agregalar, cüruf, klinker ve çimento olmak üzere üç grupta incelenebilir.

Cüruf : Demir filizinin endüstride indirgenmesi sırasında atık madde olarak elde edilir. Yol inşaatında kullanılan cüruflar yüksek fırın cüruflarıdır. Bunlar genel olarak püskürük kayalarda rastlanılan minerallere benzeyen minerallerden oluşmuştur. Dokuları cilalıcam veya petekli gibi değişik durumlar gösterir. Cüruf en fazla kullanılan suni agrega olup kalsiyum, alüminyum ve magnezyumun çeşitli kompleks karışımıdır.

Klinker : Fırınlardan bir artığı olup küllerin eriyerek topraklar haline gelmesinden oluşur. Klinker çok değişebilen bir malzemedir, bu nedenle sadece kaplama karışımında kullanılmak üzere hazırlanmış ve şartnamelere uygun klinkerler asfalt kaplama yapımında kullanılabilirler.

Çimento : İlave edildiği bitümlü karışımında sadece filler olarak işlev görür. Çimentoların filler olarak kullanılmalarından maksat, çimentonun bağlayıcı özelliğinden yararlanmak değildir. Çimento, standart granülometrik bileşimi, saflığı ve bitümlü bağlayıcılarla herhangi bir reaksiyona girmediği için filler olarak kullanılmaya çok uygundur.

1.2.2. Bitümlü Kaplamalar Yönünden Agrega

Bitümlü kaplamaların yapımında kullanılan agreganın, şartnamelerde istenen fiziksel özellikleri ve granülometrik bileşimi sağlaması gerekir. Herhangi bir bitümlü kaplamanın ağırlıkça % 88-96 sını, hacimce % 75-85 ini oluşturan agreganın, granülometrisini ve fiziksel özelliklerini belirleyebilmek, kısaca kaplamanın başarısına direkt olarak etki eden agreganın şartnamede istenen tüm koşulları sağlayıp sağlamadığını kontrol edebilmek, agrega üzerine uygulanan kalite kontrol deneylerinin hassas bir şekilde tatbik edilmesi ile mümkün olacaktır (9,10).

Farklı boyutlardaki agrega grupları, kaplama karışımına farklı nitelikler sağlarlar. O nedenle, boyutlarına göre kaba (iri) agrega, ince agrega ve mineral filler olmak üzere üç farklı gruba ayrılan agreganın, ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir.

Kaba agrega, agrega karışımının 4.75 mm'lik (No.4) elek üzerinde kalan kısmı olup kırılmış, elenmiş, taş, çakıl veya elenmiş çakıl ile bunların karışımından ibarettir. Kaba

agrega, temiz, pürüzlü, sağlam ve dayanıklı danelerden oluşmalı ve içinde yumuşak ve dayanıksız parçalar, kil, organik ve diğer maddeler bulunmamalıdır.

Bitümlü karışımdaki kaba agrega, karışım içerisinde bir iskelet oluşturur ve karışımın akmaya karşı direncinde önemli bir rol oynar. Bu işlem dane şekli ve dokusu ile de yakından ilgilidir. Kaba agrega oranı %55 olan asfalt betonu kaplamalarının, kaba agrega oranı %25 olan asfalt betonu kaplamalarından daha az deformasyona uğradığı tespit edilmiştir(7).

İnce agrega, agrega karışımının 4.75 mm'lik (No.4) elekten geçip 0.075 mm'lik (No.200) elek üzerinde kalan kısmı olup kırılmış taş, çakıl veya kum ile bunların karışımından ibarettir. İnce agrega, kaba agrega iskeletinin boşluklarını doldurmak suretiyle daha yoğun bir karışımın elde edilmesini sağlar. İnce agreganın yüzey dokusu deformasyon direncine etkisi bakımından önemlidir. Örneğin, kırma malzeme veya cüruf, çakıl kumuna nazaran daha yüksek bir deformasyon direnci sağlar. İnce agrega, temiz, sağlam ve dayanıklı olmalıdır.

Mineral filler, genel anlamı ile tamamı 0.600 mm'lik (No.30) elekten geçen, ağırlıkça en az %70'i 0.075mm'lik (No.200) elekten geçen malzeme olarak tanımlanır. Mineral filler, agrega karışımının çok küçük yüzdesini oluşturmasına rağmen kaplama karışımının esnekliği, sıkışabilirliği, geçirimsizliği ve işlenebilirliği gibi özelliklerinin düzenlenebilmesi bakımından son derece önemlidir. 0.075mm'lik elekten geçen her malzeme filler işlevi görmez. Filler, 0.001mm'den ince boyutlu daneler de içermeli ve kimyasal bakımdan atılmalıdır. Karışım içerisindeki oranı iyi ayarlanmalı, karışımın yapıldığı sıcaklıkta olmalı ve bağlayıcıya karşı iyi bir yüzey adezyonu sağlamalıdır. Toprak, kil, organik ve zararlı madde ihtiva etmemeli ve kolayca akacak kadar da kuru olmalıdır. Taş tozu, mermer tozu, kalker tozu, portland çimentosu ve sönmüş kireç çok sık kullanılan mineral filler malzemeleridir (11,12,13,14).

1.3. Bitümlü Bağlayıcılar

Yol inşaatında kullanılan bitümlü malzeme esas itibarıyla bitümden oluşmaktadır. Bitüm, doğal kökenli hidrokarbonların veya projenik kökenli hidrokarbonların bir karışımı yahut da bunların her ikisinin bir kombinezonu olup çoğunlukla bunların gaz, sıvı, yarıkatı veya katı halde olabilen metal dışı türevleriyle bir arada bulunan, yapıştırıcı özelliğe sahip ve karbon disülfürde (C₂S) tamamen çözünen madde olarak tanımlanır.

Bitümlü bağlayıcıların asıl fonksiyonu, agrega daneleri ve agrega ile yol yüzeyi arasında bağlantıyı (yapışmayı) sağlamaktır. Bitümlü bağlayıcılar, sıvı, yarıkatı veya katı halde bulunurlar. Yarıkatı ve katı haldekilerini, ısıtarak sıvı hale getirip kullanmak mümkündür. Sıvı halden de tekrar önceki haline gelirken yapışkanlıkları sayesinde kohezyon ve adezyon gibi iki önemli özelliği gösterirler. Kohezyon, çatlama ve ayrılma olmaksızın şekil değiştirme özelliğidir. Adezyon, yapışma özelliğidir. Bitümlü bağlayıcılar esas itibariyle asfaltlar ve katranlar olmak üzere iki ana gruba ayrılabilirler (5,7,15,16,).

1.3.1. Asfaltlar

En eski mühendislik malzemelerinden biri olan asfalt, doğal halde bulunan ya da ham petrolün damıtılması sırasında elde edilen, rengi koyu kahverengiden siyaha kadar değişebilen, katı, yarıkatı ve sıvı halde olabilen kuvvetli bağlayıcı özelliğe sahip hidrokarbonlardan oluşan bağlayıcı bir maddedir. Asfalt, yol inşaatında kullanılmasının yanında daha çok su yalıtımında, karo yapımında ve elektrik sanayinde kullanılmaktadır.

Asfaltlar, kökenlerine göre doğal asfaltlar ve yapay (rafineri) asfaltlar olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Doğal asfaltları kullanılabilir hale getirmek maksadıyla bir takım işlemlerden geçirmek gerekir. Doğal asfaltlar, jeolojik kuvvetlerin tesiriyle petrolden oluşurlar ve genellikle mineral agrega ile karışık halde olurlar. Doğal asfalt kaynakları, kaya asfaltları ve göl asfaltlarıdır. Kaya asfaltlar, gözenekli kalkerin doğal olarak asfaltı emmesinden oluşur. Malzemenin %90'ı mineral, %10'u ise asfalttır. Göl asfaltı, mineral maddenin çok ince daneler halinde asfalt ortamı içerisinde yayılmış durumdaki asfalt tipidir. En tanınmışı Trinidad adasındaki tabii asfalt gölüdür ve %35 nispetinde mineral madde içermektedir. Çok sert olduğu için uygun bir yumuşatıcı karıştırılarak yol yapımında kullanılabilir (4,7,17,18,19).

Yapay asfaltlar, ham petrolün endüstride damıtılmasıyla elde edilirler. Bu asfaltlara çökelek veya rafineri asfaltları da denir. Petrol kuyularından çıkarılan ham petrol rafineriye gelir. Oradan borularla tanklara boşaltılarak ısıtma kulelerine gönderildikten sonra sıcaklığı yükseltilecek ham petrol damıtma kulelerine gelir. Kolay uçucu olan kısımlar bu kulelerin üst kısmından çıkar ve soğutucularda yoğunlaşarak ayrılır. Bunlar hafif ürünleri oluştururlar. Daha az uçucu olanlar aynı şekilde orta ürünleri, en ağır uçucular ise ağır ürünleri

oluştururlar. Başlıca asfalt içeren kalıntı ise kulenin dibinde kalır. Böylece ham petrolden beş farklı ürün elde edilmiş olur.

1. Benzin (gazolin)
2. Gazyağı (kerosen)
3. Dizel yağlar (mazot)
4. Yağlama yağları
5. Ağır kalıntı maddeleri

Elde edilen bu ürünlerin hepsine gerektiğinde tekrar damıtma işlemi uygulanarak daha değişik petrol ürünleri elde edilebilir. Damıtma işlemi sonunda elde edilen kalıntı içerisinde hava geçirmek suretiyle yarıkatı asfaltlara yeni özellikler kazandırılabilir. Kalıntı henüz sıvı iken normal damıtma işlemi kesilir. Bu sıvı kalıntı ayrı bir tanka alınır ve yüksek sıcaklıkta tutularak içerisinde hava geçirilir. Böylece çok sert olan okside (blown) asfaltlar elde edilir. Okside asfaltlar genellikle kaplamalarda kullanılmaz. Daha çok özel amaçlar için yalıtım işlerinde , elektrik, otomobil veya boya sanayinde kullanılırlar. Kalıntı maddelerinin daha ileri damıtılmasından SC sınıfı (yavaş kür olan) yol yağları elde edilir, geride ise asfalt çimentosu kalır. Damıtımdaki sıcaklık derecesi, basınç değeri ve su buharı miktarı gibi koşulların değiştirilmesi ile istenilen kıvamdaki asfalt çimentosu elde edilebilir (5,18).

1.3.1.1. Asfalt Çimentoları (AC)

AC (Asphaltic Cement) sembolü ile gösterilen asfalt çimentosu, özellik ve kıvam bakımından doğrudan doğruya bitümlü kaplamalarda kullanılmak üzere hazırlanmış petrol kökenli asfalttır. Asfalt çimentosu, kullanılmak üzere akıcı hale getirilebilmesi için muhakkak ısıtılması gerekir. Soğuyunca tekrar sertleşerek bağlayıcılık işlevini yerine getirir. Asfalt çimentoları, penetrasyon (AC'nin kıvamını ifade eder) derecelerine göre 10 ila 300 arasında değişir.

- AC 10-20
- AC 20-30
- AC 30-40
- AC 40-50
- AC 60-70
- AC 75-100

AC 120-150

AC 150-200

AC 200-300

Bu penetrasyon dereceleri yükseldikçe asfalt çimentosu yumuşar dolayısıyla bağlayıcılık gücü azalır. AC 10-20 en sert, AC 200-300 en yumuşak asfalt çimentosunu ifade eder. Asfalt çimentosu, katbek asfaltlar ve asfalt emülsiyonlarının da ana maddesidir.

1.3.1.2. Katbek (Likit) Asfaltlar

Temel maddesi asfalt çimentosu olan katbek asfaltlar, penetrasyon derecesi bilinen bir asfalt çimentosunun, içinde eriyebileceği bir yağla karıştırılması suretiyle elde edilirler. Yüzeysel kaplamalarda ve bitümlü makadamlarda kullanılmak üzere agrega ile soğuk halde veya agrega yüzeyindeki nemin kurummasına yetecek kadar sıcaklıkta karıştırılabilmesi mümkün olan bir akışkan asfalt elde etmek amacıyla katbek asfaltlar geliştirilmiştir. Yolda bağlayıcı olarak kullanılmalarının yanında astarlama işlerinde de kullanılırlar. Bunlar çabuk kür olan RC sınıfı, orta hızda kür olan MC sınıfı ve yavaş kür olan SC sınıfı olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Ayrıca her sınıfta kendi arasında kıvam derecesini belirten kinematik viskozite değerlerine göre de sınıflara ayrılır. RC, MC ve SC harflerinden sonra gelen sayılar o tipin kinematik viskozite alt sınıfını gösterir. Asfaltın viskozitesi yükseldikçe yani kıvamı arttıkça bu sayılar da büyür. Örneğin, bir MC-30 katbek asfaltı, MC-3000'e göre çok daha ince ve akıcıdır (5,7,18,20,21).

Tablo 1. Katbek asfalt tipleri

Yavaş Kür Olanlar	Orta Hızda Kür Olanlar	Çabuk Kür Olanlar
SC - 70	MC - 70	RC - 70
SC - 250	MC - 250	RC - 250
SC - 800	MC - 800	RC - 800
SC - 3000	MC - 3000	RC - 3000

Katbek asfaltlar, yolda kullanıldığında içerisindeki yağların uçması sonucu geriye sadece asfalt çimentosu (AC) kalır. Bu işleme kür olma denir.

Çabuk kür olan katbek asfaltları (RC), asfalt çimentosu ile benzin gibi çok uçucu bir çözücünün karıştırılmasıyla elde edilirler. Bunlar çabuk kurdukları için soğuk iklimlerde ve karışımın çabuk karıştırılması gereken durumlarda kullanılır. Hemen alev alma durumu söz konusu olduğu için yangına karşı çok dikkatli olmak gerekir.

Orta hızda kür olan katbek asfaltları (MC), asfalt çimentosu ile gazyağı gibi orta derecede uçucu bir çözücünün karıştırılması ile elde edilirler. Kuruma süresi RC tipine göre daha fazladır.

Yavaş kür olan katbek asfaltları (SC) ise, asfalt çimentosu ile kaynama noktası yüksek bir yağın karıştırılması ile veya doğrudan doğruya ham petrolün damıtılmasından elde edilirler. Bu malzemeye bazen yolyağı da denir.

1.3.1.3. Asfalt Emülsiyonları

Asfalt emülsiyonları, bir kaç mikron çapındaki asfalt çimentosu küreciklerinin birbirinden ayrı olarak su içerisinde dağılmasından elde edilirler. Asfalt çimentosunun su içerisinde dağılması karıştırma işlemi ile sağlanabilir. Fakat bu şekilde elde edilen emülsiyon uzun ömürlü olmaz ve kısa bir süre sonra asfalt kürecikleri birbirlerine yapışarak sudan ayrılırlar. Bu durumu önlemek amacıyla emülsif adı verilen katkı maddeleri kullanılır. Emülsif madde, asfalt küreciklerinin çevresini bir film halinde sararak kendi aralarında birleşmesine engel olur. Asfalt emülsiyonu yola serildiğinde emülsif maddenin yoldaki agregaya ve tozlar tarafından emilmesi sonucu emülsif madde kaybolur. Bu olaya emülsiyonun kesilmesi denir. Bu kesilme hızlarına göre katbek asfaltlarda olduğu gibi asfalt emülsiyonları da, çabuk kesilen RS, orta hızda kesilen MS ve yavaş kesilen SS olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Bu sembollerin yanına emülsiyonun kıvamını (viskozitesini) gösteren bir sayı gelir. Ayrıca asfalt emülsiyonları kullanılan emülsif maddenin cinsine bağlı olarak anyonik (asidik) asfalt emülsiyonları ve katyonik (bazik) asfalt emülsiyonları olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Eğer emülsif madde katyonik tipinde ise asfalt kürecikleri pozitif yüklü olacaktır (katyonik emülsiyon), anyonik tipinde ise asfalt kürecikleri negatif yüklü olacaktır (anyonik emülsiyon).

Tablo 2. Asfalt emülsiyonlarının viskozitelerine göre türleri (5).

	Çabuk Kesilen (RS)	Orta Hızda Kesilen (MS)	Yavaş Kesilen (SS)
Anyonik Asfalt Emülsiyonları	RS - 1	MS - 1	SS - 1
	RS - 2	MS - 2	SS - 1h
		MS - 2h	
Katyonik Asfalt Emülsiyonları	CRS - 1	CMS - 2	CSS - 1
	CRS - 2	CMS - 2h	CSS - 1h

Emülsiyonun stabilitesi emülsif maddenin daha etkin seçilmesi veya dozajı ile ayarlanır. Böylece sürstabilize emülsiyonlar elde edilirler. Bunlar tozlu zeminlerde bile kesilmezler. Bu tür emülsiyonlar zeminlerin stabilizasyonunda da kullanılabilirler.

Asfalt emülsiyonları, yüzeysel kaplamalarda, astar uygulamalarında, penetrasyon makadamlı kaplamalarda, zemin stabilizasyonunda ve çok zayıf agregalarda emdirme işleminde kullanılırlar. Ancak son iki durum için sürstabilize emülsiyonlar kullanılır (5,7,22,23).

1.3.1.4. Doplar

Bitümlü bağlayıcıların agregaya daha iyi bir şekilde yapışmasını sağlamak yani adezyonunu artırmak amacıyla bağlayıcıya katılan malzemelere dop adı verilir. Katranların adezyonu iyi olduğu için dop pek gerekli olmaz. Saf asfaltlara uygulaması da azdır. Zira dopun etkin olabilmesi için bağlayıcı viskozitesinin düşük olması gerekir. Ayrıca sıcaklık 100-150⁰C'yi geçince dop bozular. Dop moleküllerinin bağlayıcı içinde dağılarak agrega yüzeyine ulaşabilmesi gerekir. Bağlayıcının viskozitesi arttıkça bu dağılma azalır.

Katbek asfaltlarda da dop kullanmak yararlıdır. Çözücünün buharlaştığı esnada şiddetli bir yağmur etkisiyle agreganın bağlayıcıdan ayrılmasını yani soyulma denen olayı önler. Esası sileks olan taşlarla suyun mevcut olduğu durumda dahi bağlayıcının yapışmasını sağlayan kuvvetli doplar vardır.

1.3.2. Katranlar (RT)

Katran, zift ile hafif ve ağır yağların doğal veya yapay karışımıdır. Odunun ve kömürün kapalı bir sistem içinde kuru kuruya damıtılmasından elde edilir. Buna ham katran adı verilir. Katran, genellikle ham olarak değil, arıtıldıktan sonra kullanılır. Kaplamalarda kullanılan katranın kömür kökenli olması tercih edilir. Katran, ya metalurjik amaçlar için kok elde edilmesi veya havagazı üretimi için kömürün kuru olarak damıtılması sırasında bir yan ürün olarak elde edilir. Katranın, agregaya yapışma özelliği asfalttan daha fazla olmasına karşın ömrü asfalttan daha kısadır. Katranlar, yapışma özelliklerinden dolayı asfalt çimentoları içerisinde dop olarak kullanılabilirler.

RT (Road Tar) sembolü ile gösterilen yol katranları kıvamlılıklarına göre, RT-1, RT-2, RT-3, RT-4, RT-5, RT-6, RT-7, RT-8, RT-9, RT-10, RT-11, RT-12, RTCB-5 ve RTCB-6 olmak üzere 14 sınıfa ayrılırlar ve sembollerin yanındaki numaraları yükseldikçe kıvamlılıkları da artar. Katranlar kıvamlarına göre astar uygulamalarında yolda hazırlanan karışım tipi (rodmiiks) kaplamalarda, sathi kaplamalarda, tesislerde hazırlanan karışım tipi kaplamalarda ve yama işlerinde kullanılırlar (4,5,24).

Ham Katranın Damıtılması :

Ham katranın içinde fazla miktarda su bulunması ve ince kıvamlı tortulu bir halde olması nedeniyle yol bağlayıcısı olarak kullanılması mümkün değildir. Ayrıca ham katranın yapısında boya, ilaç, plastik ve patlayıcı maddeler gibi çeşitli maddelerin elde edilmesinde kullanılan çok değerli elemanlar mevcuttur. Bu yüzden ham katranı damıtarak bir takım kısımlara ayırmak mümkündür. Bu kısımlardan bazıları sonradan tekrar birbirlerine karıştırılarak yol katranı elde edilir. Diğer kısımlar ise değişik amaçlarla endüstride kullanılır.

Yol Katranlarının Hazırlanması :

Damıtma işlemiyle değişik sıcaklıklarda çeşitli ürünler elde edilir. Damıtma işlemi yapıldıktan sonra geriye kalan çökeleğe zift adı verilir. Bu şekilde elde edilen ziftin sertliği, yol katranı olarak kullanılmasına engeldir. Bu sebeple zift, istenilen kıvamın elde edilinceye kadar, önceden damıtım yoluyla ham katrandan ayrılan yağların bazıları ile karıştırılır. Ziftin

kıvamının inceltildiği bu işleme flüksaj denir. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen yol katranları, kullanılacağı yere sevk edilmek üzere sıcak olarak saklanacağı depo tanklarına pompalanır.

Katranlara Ait Bazı Özellikler :

Katranın agregaya yapışma özelliği asfalta nazaran daha iyi olmasına karşın katranın kıvamı sıcaklığın değişimi ile daha çok değişiklik göstererek daha çabuk bozulur. Bu sakıncayı gidermek maksadıyla katrana mümkün olduğu kadar ağır yağlar katılır. Katranın özelliklerini iyileştirmenin diğer bir yolu ise %15-20 asfalt ilave etmektir. Böyle katranlara asfaltlı katran adı verilir. Fakat asfalt oranı %20'yi aşmamalıdır. Aksi takdirde katran dibe çöker.

Katranın içerisine su ilave edilmek suretiyle katran emülsiyonları elde edilmesi ve emülsiyon halinde kullanılması da mümkündür. Bu durumda normal sıcaklıkta çok düşük bir viskozite söz konusudur. Katran emülsiyonlarının hazırlanması ve kullanılması oldukça zor olduğu için yol inşaatında hemen hemen hiç kullanılmazlar.

1.4. Bitümlü Karışımlar

Bitümlü karışımlar, agregaya ile bitümlü bağlayıcı malzemenin belli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilir. Bitümlü karışım kaplamalarının maliyetinin çok yüksek olmasından dolayı yapımı tamamlandıktan sonra istenilen şartları sağlaması ve öngörülen sürede bozulmadan hizmet verebilmesi için uygun malzeme seçiminin yanında bileşim oranlarının da çok iyi tespit edilmesi gerekmektedir. Elde edilen karışımın kendisinden beklenen fizik ve mekanik özellikleri sağlaması gerekmektedir.

Bitümlü karışım kaplamaları, alttemel ve temel tabakalarında kullanılan malzeme cinsine ve bu tabakaların kalınlıklarına göre 2 ila 10cm kalınlığında yapılabilirler. Ancak, 5-6cm den daha kalın kaplama yapılması söz konusu ise bu durumda iki tabaka halinde yapılması gerekir. Daha az sıkıştırılan ve daha az bitüm içeren alttaki tabakaya 'Binder Tabakası' denir. Binder tabakasına göre daha iyi sıkışmış ve daha fazla bağlayıcı içeren üstteki tabakaya da 'Aşınma Tabakası' adı verilir (7,9,25,26).

Bitümlü karışımların maliyeti yüksek olmasına rağmen aşağıdaki faydalarından dolayı tercih edilirler.

- . Yol düzgün yüzeyli olur, konfor artar, tekerlek daha az aşınır,
- . Taş fırlatma tehlikesi yoktur,
- . Oldukça geçirimsiz bir yol yüzeyi elde edilir,
- . Üstyapıyı bozulmalardan korur.

1.4.1. Bitümlü Karışımların Sınıflandırılması

Bitümlü karışımlar, kullanılan bağlayıcının tipine ve agreganın ısıtılıp ısıtılmamasına bağlı olarak 'Sıcak Karışımlar' ve 'Soğuk Karışımlar' olmak üzere ikiye ayrılır. Soğuk karışımlarda bağlayıcı olarak, emülsiyon asfaltı veya katbek asfaltı kullanılır. Sıcak karışımlarda ise 140-160⁰C'ye kadar ısıtılmış asfalt çimentosu kullanılır.

Bitümlü karışımlar, karıştırma yerlerine göre, Yolda ve plentte karışım olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Soğuk karışımları plentte de üretmek mümkündür. Ancak, soğuk karışımlar genellikle trafik yükü az olan ikinci sınıf yollarda ve bakım amacıyla birinci sınıf yollarda kullanılır. Sıcak ve soğuk karışımlar, karışımdaki agrega granülometrisine, kullanım amacına ve boşluk yüzdelerine bağlı olarak sınıflandırılabilirler (7,9,27).

Sıcak Karışımlar :

Agreganın kurutulması, asfalt ile iyi bir şekilde karıştırılabilmesi, işlenebilmesi ve asfalt çimentosunun uygun akıcılığa getirilmesi maksadıyla karıştırılmadan önce her iki malzemenin de ısıtılması gerektiğinden, bu tür karışımlara sıcak karışım denilmektedir.

Yoğun granülometreli sıcak karışımlar : Agregada granülometrisi düşük boşluk verecek şekilde süreklilik gösterir. Bunlar boşluk oranları %8'den az olan bitümlü karışımlardır. Bitümlü temel ve asfalt betonu bu sınıfa girer.

Yarı yoğun (kesikli) granülometreli sıcak karışımlar : Ara boyutlu malzeme çok azdır veya hiç yoktur. Boşluk oranları %8 ila %12 arasında olan bu tür karışımlar, pürüzlü bir yüzey verirler ve tekerlek izine karşı dirençleri yüksektir.

Açık granülometreli sıcak karışımlar : Bu tür karışımlarda ince agrega oranı çok az olup karışımın boşluk oranı %12'den fazladır. Makadam tipi kaplamalar bu sınıfa girer.

Harç tipi karışımlar : İnce malzeme oranı fazladır ve kaba agregaya, ince malzeme-bitüm karışımı içinde dağılmış halde bulunur. Bu tür karışımlarda boşluk oranı çok düşüktür, bitüm yüzdesi çok yüksek olduğundan penetrasyonu düşük (viskozitesi yüksek) asfalt kullanılır. Beton ve çelik köprüler üzerinde de kullanılan mastik asfalt ve gussasfalt bu tür kaplamalara örnek olarak verilebilir.

Soğuk Karışımlar :

Katbek asfaltın veya asfalt emülsiyonlarının, agregaya ile soğuk halde veya agregaya yüzeyindeki nemin kurumasına yetecek kadar sıcaklıkta karıştırılmasıyla elde edilen karışımlara soğuk karışımlar denir.

Yarı yoğun (kesikli) granülometreli soğuk karışımlar : Boşluk oranları %12'den az olan bitümlü karışımlardır.

Açık granülometreli soğuk karışımlar : Boşluk oranları %12'den fazla olan bitümlü karışımlardır.

1.4.2. Bitümlü Karışımların Dizaynı

Bitümlü karışımlar, agregaya ve bitümlü bağlayıcı olmak üzere iki bileşenden oluşur. Bu bileşenlerin, harmanlanıp karıştırılarak serilip sıkıştırılmasıyla elde edilen kaplamadan istenen özellikleri sağlaması gerekir. O nedenle bitümlü kaplama karışımlarının dizaynında deney yöntemlerinin detaylarına çok dikkat etmek ve kuralları aynen yerine getirmek gerekir. Ayrıca iyi bir laboratuvar tekniğine sahip olmak ve karışım dizayn deneyleri ile şartname talepleri arasındaki ilişkiyi de iyi bilmek gerekir.

1.4.2.1. Bitümlü Karışımların Dizayn Amaçları

Bitümlü kaplama karışımlarının dizaynında amaç, inşaat bitiminden sonra istenilen özellikleri sağlayacak malzemelerin seçilmesi ve karışım oranlarının belirlenmesidir. Sebep ve etkileri itibarıyla bitümlü kaplama karışımının dizayn amaçları aşağıdaki gibi maddeler halinde özetlenebilir (9,27).

1. Sağlam (durabil) bir üstyapı elde etmek için gerekli bitüm miktarının bulunması,

2. Trafik yükleri altında deformasyon göstermeyecek yeterlikte karışım stabilitesini oluşturmak,

3. Sıkıştırılmış nihai karışımında, trafik yüklerinin oluşturacağı çok az miktardaki sıkışmaya, kusma, akma ve stabilite düşüklüğü olmaksızın imkan verecek, ancak karışım içinde rutubet ve fazla hava barındırmayacak ölçüdeki boşluğu sağlamak,

4. Segregasyona (karışımın ayrışması) uğramaksızın uygun serimi sağlayacak bir işlenebilirliği verecek ekonomik bir karışım ve agrega granülometrisini belirlemek.

1.4.2.2. Bitümlü Karışımların Dizaynında Temel İlkeler

Bitümlü karışımların dizaynında; agregalar ile bitümlü malzemenin uygun biçim ve oranlarının tespit edilmesinde göz önüne alınması gereken temel ilkeler belirlenmelidir. Bu temel ilkeler aşağıdaki gibi üç grupta incelenebilir.

- a. Kullanılacak agreganın kalitesi ve granülometrisi,
- b. Uygun bağlayıcı seçimi,
- c. Kullanılacak bağlayıcı miktarının belirlenmesi

a. Kullanılacak Agreganın Kalitesi ve Granülometrisi :

Bitümlü karışımların dizaynında kullanılacak agreganın tipi önemlidir. Granülometri bakımından agregalar boşluklu tip ve boşluksuz tip olmak üzere ikiye ayrılırlar. Boşluklu tip agregalar, nispeten dar dane boyutu sınırları arasındaki malzeme olup daneler tek bir boyuta oldukça yakın boyutlu olduğundan daneler arasında yüksek boşluk oranı bulunur. Boşluksuz tip agregalar ise, en iri daneden en inceye kadar geniş bir sınır içinde üniform biçimde dağılmış granülometriye sahiptirler. İri daneler arasındaki boşluklar daha ince danelerle dolduğu için de bu tip karışımlarda boşluk oranı düşüktür.

Agreganın granülometrisinin yanında, bitüme olan ilgisi, dane formu ve gözenekliliği de karışım dizaynında etkili olan özelliklerdir. Pürüzsüz ve küresel denelerden oluşan agregaya, daha pürüzlü danelerden oluşan agregaya göre daha fazla optimum bitüm miktarını gerektirir. Pürüzlü danelerden oluşan agreganın iç sürtünmeden doğan stabilitesi diğerinden yüksektir. Gözenekli agregaya, gözeneksiz agregadan daha yüksek bitüm yüzdesi ister. Bitümlü malzemenin agreganın gözeneklerine girmesi, karışımın daha uygun bir bağlantı özelliği göstermesi sonucunu doğurduğundan agreganın biraz gözenekli olması istenir.

Fakat, yüksek derecede gözenekli agregaya kullanılması karışımdaki ek bitüm ihtiyacını artıracığından dolayı karışım maliyetini yükselteceği açıktır. Genel olarak bir agreganın etüvde kurutulmuş ağırlığının %0.75-1.0'i su emecek kadar gözenekli olması yeterli sayılır(7).

Bazı agregalarda nemin etkisi, bitümlü bağlayıcı ile agregaya arasındaki bağlantının diğer agregaya çeşitlerinden daha çok zayıflamasına sebep olabilir. Bu bağlantının zayıflaması olayına "Soyulma" denir. Nem karşısında, çevresindeki bağlayıcı filmi çözülen agregalara "hidrofil agregaya" adı verilir. Bunların kaplama yapımında kullanılması sakıncalıdır. Bazen bu tip agregaya karışımına bir miktar başka tip agregaya eklenerek durum düzeltilebilir. Soyulma özelliği minimum olan bu katkı agregasına "hidrofob agregaya" adı verilir.

b. Uygun Bağlayıcı Seçimi :

Bitümlü bağlayıcının kaplamanın başarısına etki eden en önemli özelliği kıvamıdır. Sıcaklığa bağlı olarak asfalt; gevrek, elastik, elasto-plastik, viskoelastik ve viskoz olmak üzere değişik hallerde bulunur. Asfaltın bu özelliği karışımın özelliklerine de yansır. Bu durum dikkate alınarak iklim koşulları ne olursa olsun yapım ve trafik durumuna uygun olacak şekilde daima uygun kıvamlı bağlayıcının özenle seçilmesi gerekir.

c. Kullanılacak Bağlayıcı Miktarının Belirlenmesi :

Bitümlü kaplama karışımının en önemli değişkeni; karışımdaki bağlayıcı miktarıdır. Eğer karışımdaki bağlayıcı miktarı gerekenden çok fazla ise, karışım stabilite özelliğinden yoksun olur ve trafik yüklerinin etkisiyle kaplamada derin izler oluşur. Bağlayıcı gerekenden biraz fazla ise, özellikle yağışlı havalarda tehlikeli olan yağlı ve kaygan bir yüzey oluşur. Bağlayıcı fazlalığı lokal ise, yüzeyde yağlı bölgeler görülür. Buna "Kaplamanın Terlemesi" denir. Eğer karışımda yeteri kadar bağlayıcı yoksa, kaplama içindeki agregayı yerinde tutmak için gerekli bağlama (yapışma) özelliği eksik kalır. Bu durumda trafiğin etkisiyle agregaya daneleri kaplamadan koparak ayrılır ve sonuç olarak yüzeyde bir takım delikler oluşur. Bu duruma "Kaplamanın Sökülmesi" denir. Kısaca ifade edilirse, yüksek asfalt içerikli karışımlar soyulmaya, agregaya sökülmesine (ravelling-arrachement), çatlamaya ve

yorulmaya karşı dayanıklı, düşük asfalt içerikli karışımlar ise oluklanma ve kismaya karşı dayanıklıdır (7,9,28).

Bitümlü karışımların bileşenlerinin saptanmasında bir çok metod ve formüller kullanılır. Bu alanda bulunan en eski formüllerden biri California Yol Dairesi tarafından geliştirilen McKessen-Frickstad formülüdür. Yavaş kuruyan bağlayıcılar için önerilen bu formül :

$$P = 0.015a + 0.03b + 0.17c \quad (1)$$

P : agreganın ağırlıkça yüzdesi cinsinden bağlayıcı oranı,

a : 10 No. lu elekten geçmeyen agreganın ağırlıkça yüzdesi,

b : 10 No ile 200 No arasında kalan agreganın ağırlıkça yüzdesi,

c : 200 No. dan geçen agreganın yüzdesidir.

Bu temel formül, sonraları sabitlerin değerleri ya da agregaya boyutlarının daha incelikli olarak belirtilmesi veya bunların her ikisi değiştirilerek düzeltilmiştir. Bir çok yol idaresi bu formülü uygulamaktadır.

1936 yıllarında California'da bitümlü bir karışımdaki optimum sıvı asfalt yüzdesinin belirtilmesinde yüzey alanı metodu adıyla tanımlanan bir yöntem kullanılmaya başlandı. Yöntem, elek analizine dayalı olarak bulunan daneleri küresel biçimde varsayarak bunların toplam yüzeysel alan değerini esas almaktadır.

1946 yıllarına doğru, California Yol İdaresinden F.N. Hveem, boşluksuz bitümlü karışımlar için bitümlü bağlayıcı miktarını belirleyen yeni bir metod geliştirdi. Bu metod, o zamandan beri gerek California gerekse Federal Hükümet Yol Dairelerince başarı ile uygulanmaktadır. Metod, yüzey alanı, yüzeyin karakteri ve agregaya daneciklerinin bitüm emme özelliklerini hesaba katmaktadır. Bitümün agregaya oranı iki katsayı ile belirtilmektedir. Bunlardan biri K, agregaya daneciklerinin yüzeysel pürüzlülüğüne bağlıdır. Diğeri CKE (Merkezkaç gazyağı eşdeğeri), agreganın 4 No'lu elekten geçen iyi bir örneği gazyağına batırılarak doygun hale getirildikten sonra 2 dakika süre ile yerçekiminin 400 katına eşit bir merkezkaç kuvvet etkisinde bırakıldığında, bu örnek içinde kalan gazyağı miktarına (Kuru agregaya ağırlığının yüzdesi olarak) bağlıdır.

Granit, yoğun kalker, sert volkanik kaya ve yoğun bazalt kayalarından elde edilen yapay kırma agregaları için K değeri 1.0 alınır. Karışımda kullanılan agregaların malzemesinin özgül ağırlığı 2.65 gr/cm^3 den çok farklı olmaması halinde, karışım için gerekli bitüm miktarı;

$$\text{Bitümlü Bağlayıcı Oranı} = [(0.85\text{CKE}+2.5)/100][\sqrt{4 \text{ No.dan geçen yüzde}/100}] \quad (2)$$

formülü ile hesaplanır. Değişik koşullar için gerekli bitüm ağırlığının agregaların ağırlığına oranı Tablolar yardımıyla bulunur. Metod SC-2, MC-2 ve RC-2 gibi daha akışkan sıvı asfaltlar için önerilmiştir. Daha koyu kıvamlı asfaltlar için izafi akışkanlıklara dayanan düzeltme katsayıları ile aynı bağıntı kullanılabilir (7).

Fransa'da bağlayıcı miktarını, izafi özgül yüzeye bağlı olarak kuru agregaların ağırlığının yüzdesi cinsinden belirleyen bir metod kullanılmaktadır. Seçilen agreganın granülometrisi ve elek analizi sonuçlarına dayanarak agregaların özgül-yüzey alanı şu formülle hesaplanır :

$$100 \Sigma = 0.25 G + 2.30 S + 12 s + 135 f \quad (3)$$

Burada,

Σ = agregaların özgül yüzey-alanı (m^2/kg)

G = 6.3 mm'den büyük agregaların ağırlıkça % si

S = 6.3-0.315 mm arasında kalan agregaların ağırlıkça % si

s = 0.315-0.08 mm arasında kalan agregaların ağırlıkça % si

f = 0.08 mm'den geçen (filler) agregaların ağırlıkça % si

Birim ağırlıktaki (kg) bir agregada daneler ne kadar ince ise özgül yüzey-alanı (m^2) o kadar büyük olmakta, dolayısı ile daneleri sarmak için o kadar çok bitüm gerekmektedir. Daneler iri ise tersi doğrudur.

Σ , hesaplandıktan sonra, asfalt yüzdesi aşağıdaki ampirik formülle hesaplanmaktadır :

$$P = K. \alpha. \sqrt[5]{\Sigma} \quad (4)$$

Burada,

P = asfalt içeriği, kuru agreganın ağırlıkça % si olarak

Σ = özgül yüzey-alanı (m^2/kg)

K = zenginlik modülü, genellikle 3-4, daha ziyade 3-3.5 arasında seçilen bir katsayı

α = agreganın özgül ağırlığı ile değişen bir katsayı, özgül ağırlık 2.65 ise $\alpha = 1$, aksi takdirde, $2.65/\text{özgül ağırlık}$ tır.

Asfalt içeriği bu şekilde tayin edilmekte fakat şartnameler de minimum K değerlerini ve asfalt içeriklerini belirtmektedir (28).

Bugün Amerika'da ve ülkemizde kullanılan Marshall Metodu, değişik bitüm oranlarında hazırlanan deney biriketlerinin yoğunluk, boşluk ve stabilite analizleri yapılarak elde edilen dört ayrı grafikten okunan optimum bitüm değerlerinin ortalaması alınmak suretiyle optimum bağlayıcı miktarının belirlenmesi prensibine dayanmaktadır. Bu metod "Marshall Metodu ile Karışım Dizaynı" başlığı altında ayrıca ele alınmaktadır.

1.4.3. Bitümlü Karışımlardan Beklenen Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Bitümlü bağlayıcı ile agrega karışımının yola tatbik edildikten sonra istenilen verimin alınabilmesi ve düşünülen hizmet süresini bozulmadan tamamlayabilmesi için belirli bazı koşulları sağlaması gerekir. Bu koşullar, kaplamalarla ilgili teknik şartnamelerde verilmiştir. Ayrıca, her şeyden önce bir karışımın yol kaplaması olarak kullanılabilmesi için karışımdan beklenen fizik ve mekanik özellikleri sağlaması gerekir. Bu özellikler şunlardır :

1. Stabilite
2. Durabilite (Dayanıklılık)
3. Fleksibilite (Esneklik)
4. Yorulmaya karşı direnç
5. Kaymaya karşı direnç
6. Geçirimsizlik
7. İşlenebilirlik

1. Stabilite

Stabilite, taşıt trafiğinden gelen sürekli dinamik yükler, uzun süreli statik yükler ve hızlanma veya yavaşlama esnasında tekerlek etkileri ile oluşan basınç, çekme ve kesme kuvvetine karşı bitümlü kaplamanın gösterdiği dirençtir. Karışımda asfalt yüzdesinin veya kum yüzdesinin fazla olması yahut da agrega yüzeyinin pürüzsüz olması stabilite yetersizliğine sebep olur. Stabilitenin düşük olması yolda çökme, tekerlek izinde oturma ve kusmaların oluşmasına yol açar. Stabilite trafik yüklerini karşılayacak kadar yüksek olmalıdır. Ancak, çok yüksek stabilite, çok sert karışım anlamına gelir ki bu tür kaplamalar trafik yükleri altında oluşan defleksiyonlara uymayıp çatırlar. O nedenle düşük stabilite gibi çok yüksek stabilitenin de zararlı olduğu açıktır.

Bitümlü karışım kaplamanın en önemli özelliği olan stabilite, agrega granülometrisi, karışımın yoğunluğu ve karışımdaki asfalt miktarının yanında agregalar arası içsel sürtünmeye ve bitüm-agrega aderansına bağlıdır (9,15).

2. Durabilite (Dayanıklılık)

Bir bitümlü kaplamanın durabilitesi, trafik, su, hava ve sıcaklık değişikliklerinin etkilerine karşı gösterdiği dirençtir. Başka bir deyişle, karışımdaki asfalt özelliklerinin değişmesine (oksidasyon vs.), agreganın kırılmasına ve asfaltın agrega yüzeyinden soyulmasına karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilir. Yüksek durabilitenin elde edilmesi, yoğun granülometrilili ve soyulma direnci yüksek agrega ile yüksek bitüm yüzdesi kullanılarak karışımın yüksek geçirimsizlik verecek şekilde dizayn edilip sıkıştırılması ile mümkündür. Aşınma tabakasında daha sert bir agrega kullanılarak daha yüksek bir dayanıklılık sağlanabilir. Ancak mevcut nem halinde karışımın soyulmaya karşı direnci agreganın bitüm emmesi ile ilgisi son derece önemlidir (7,9,29). Düşük durabilite sebep ve etkileri aşağıdaki gibidir :

- Asfalt yüzdesinin düşük olması, kuru bir görünüş ve agregaların sökülmesine,
- Yetersiz sıkışma ve boşluk yüzdesinin yüksek olması, asfaltın erken yaşlanarak kırılması ve ayrışmasına,
- Soyulmaya karşı hassas agrega kullanılması, asfaltın agregadan soyulmasına ve agregaların sökülmesine neden olmaktadır.

3. Fleksibilite (Esneklik)

Üstyapının taban zemininde meydana gelen oturma ve hareketlere, çatlamadan karşı koyabilme (uyum sağlayabilme) yeteneğidir. Fleksibilite yetersizliği, yol yüzeyinde çatlamalara sebep olur. Mineral filler ve asfalt çimentosunun oranı, asfalt çimentosunun kıvamı, duktilitesi ve sıcaklığa karşı duyarlılığı fleksibiliteye etki eden faktörlerdir. Kararlı ve esnek bir karışım elde etmek için yazın kıvamını koruyabilen, kışın ise kırılğan hale gelmeyen ve yorulmaya karşı dayanıklı bir bağlayıcı kullanılmalıdır. Asfalt yüzdesi yüksek, açık granülometreli karışımlar, bitüm yüzdesi düşük yoğun granülometreli karışımlara göre daha esnektir. Fakat bazen esnekliği yüksek karışımların stabilitesi düşük olabilir (9,12).

4. Yorulmaya Karşı Direnç

Üstyapının yorulmaya karşı direnci, tekrarlanan trafik yükleri altında oluşan eğilmeye karşı gösterdiği dirençtir. Karışımdaki boşluk yüzdesi ve asfaltın kıvamı yorulmaya karşı direnç üzerinde çok etkilidir. Yetersiz sıkışma ve yüksek boşluk yüzdesi, asfaltın çok erken yaşlanması ve bunu takiben yorulma çatlağı oluşmasına sebep olur. Üstyapının kalınlığı ve mukavemeti, taban zeminin taşıma gücü, üstyapı ömrünü etkileyen diğer faktörlerdir (9,12,30).

5. Kaymaya Karşı Direnç

Asfalt kaplama yüzeyinin, özellikle yağışlı havalarda araç tekerleğinin kaymasına karşı gösterdiği dirençtir. Araçların güvenli bir şekilde durmaları ve hareket etmeleri kaplamanın kaymaya karşı olan direncine bağlıdır. Kayma direnci, agreganın yüzey dokusu ve sertliği ile asfalt betonunun yüzey dokusu ve karışımdaki asfalt çimentosu oranı ile yakından ilgilidir. Yumuşak agregalar fazla aşındıkları için pürüzsüz bir yüzey oluştururlar. Daha sert agrega kullanılarak kaplamanın kaymaya karşı direnci artırılabilir.

Diğer taraftan, karışımın asfalt içeriği fazla ise veya yeterli boşluk yoksa, trafiğin oluşturduğu sıkıştırma tesiri ile veya sıcak havalarda agreganın genleşmesi sonunda asfalt dışarı çıkar ve kaygan bir yüzey meydana gelir. Bu olaya "Kaplamanın Terlemesi" denir. Bu sakıncanın ortaya çıkması için asfalt betonu karışımı homojen olmalı, üretim ve kullanma

sırasında segregasyona (ayrışarak aynı cins ve boyuttaki malzemenin bir araya gelmesi) uğramamalıdır. Ayrıca malzemenin cilalanma özelliği de kayma direnci bakımından oldukça önemlidir. Bu bakımdan tekerlek etkisiyle cilalı hale gelen gevrek agrega karışımında kullanılmamalıdır.

6. Geçirimsizlik

Asfalt kaplama tabakasının alt tabakalara su geçişine müsaade etmeyecek derecede geçirimsiz olması gerekmektedir. Geçirimsizlik, karışımdaki hava boşluğu yüzdesi ile belirlenir. Karışımdaki boşlukların birbiri ile bağlantılı olması ve boşlukların yüzeyle irtibatlı olması geçirimsizliği etkileyen başlıca faktörlerdir. Karışım dizaynında boşluk yüzdesinin yüksek olması, su ve havanın kolaylıkla karışım içerisine girmesine ve dolayısıyla oksidasyona ve agregaların ayrışmasına neden olur.

7. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, malzemenin istenilen kıvamda, kolayca karıştırılabilmesi ve sıkıştırılabilmesi olarak ifade edilir. Bu özellik, agrega granülometrisi, asfalt çimentosu oranı, en büyük dane boyutu, danelerin şekli ve yüzey dokusu ile çok yakından ilgilidir. Çok fazla kaba agrega içeren karışımlar kolay işlenebilir olmazlar. Aynı şekilde çok fazla filler de işlenebilirliği düşürür. Bazı hallerde iyi derecelenmiş karışım yeterli silindirleme olduğu halde bağlayıcı azlığı sebebiyle istenilen yoğunlukta elde edilememektedir. Bu durum asfalt çimentosu oranının karışımın işlenebilirliğindeki rolünü açıkça ortaya koymaktadır. Fakat işlenebilirliği çok iyi olan karışımlar yumuşak karışımlardır ve bunların trafik yükleri altında deforme olmaları kolaydır. Çok büyük dane boyutu ya da çok fazla kaba agregaya sahip karışımlarda sıkıştırma ve serim zorluğu olmaktadır. Karışımında filler yüzdesinin düşük olması, geçirgenliğe yol açar. Filler yüzdesinin yüksek olması ise, karışımın durabilitesinin düşük olmasına ve işlenmesinin çok zor hale gelmesine sebep olur (7,9,12,31).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, Torul Kalker Taşocağından alınan agreganın, fiziksel özelliklerini ve asfalt betonu içerisindeki performansını belirlemek amacıyla, agrega üzerine uygulanan kalite kontrol deneylerinin, karışımda kullanılacak bitümlü bağlayıcı üzerine uygulanan deneylerin ve Marshall metoduna göre sıcak karışım dizaynının son gelişmeler ışığında yapılan uygulaması anlatılmaktadır.

2.1. Agregalar Üzerinde Yapılan Deneyler

Bitümlü karışım kaplamalarının performansına doğrudan etki eden agreganın görevi, üstyapının yük taşıma kapasitesini sağlamaktır. Bitümlü karışımlarda, düşük boşluk ve yüksek stabilite elde edilmesi agrega granülometrisinin iyi olmasına bağlıdır. Agrega bitüm adezyonunun iyi olması, suyun etkisiyle soyulma (bağlayıcının agregadan ayrılması) olayının olmaması agreganın yüzey yapısı, dane boyutu, gözenekliliği ve su emmesi (absorpsiyonu) özellikleri ile doğrudan ve yakından ilgilidir. Ayrıca agreganın ısı değişimleri neticesinde oluşan donma ve çözölmeye, aşınmaya ve kaymaya karşı sağlam ve dayanıklı olması gerekir. Bitümlü karışım kaplamalarında kullanılacak agreganın özelliklerini belirlemek amacıyla aşağıda verilen kalite kontrol deneyleri uygulanır.

- . Elek Analizi
- . Aşınma (Los Angeles) Deneyi
- . Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (Donma ve Çözölme) Deneyi
- . Özgöl Ağırlık ve Su Emme Deneyi
- . Cilalanma Deneyi
- . Soyulma Deneyi

Uygulanan bu deneyler neticesinde özellikleri belirlenen agreganın kaplama yapımında kullanılıp kullanılmayacağına karar verilir. Ancak bu deneylerin hepsi her zaman aynı derecede önemli değildir. Örneğin, temel tabakasında kullanılacak agreganın aşınma ve cilalanma değeri bir önem teşkil etmez.

Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir husus; denenecek agrega numunelerinin çok özenle alınmış temsili numuneler olması ve deneylerin kişisel hatalardan uzak titiz bir şekilde yapılmasıdır.

2.1.1. Elek Analizi

Yol inşaatında kullanılacak agrega granülometrisinin belirlenebilmesi için agrega danelerinin büyüklüğü ile bunların kuru ağırlık olarak agrega içerisindeki yüzdelere bilinmesi gerekir. Agrega granülometrisinin saptanması için elek analizi yapılır. Elek analizi için Tablo 5.te verilen standart elek sisteminden şartnamenin gerektirdiği elek serisi seçilir. Elekler genellikle kare gözlü olup iri gözlü elekler inch (1 inch=2.54cm) olarak ifade edilirken ince gözlü elekler bir numara ile ifade edilmekte ve yukarıdan aşağıya, iri gözlüden ince gözlüye doğru sıralanmaktadır (32).

Elek analizine tabi tutulmak üzere Tablo 4.te verilen dane boyutlarına göre belirlenen miktarda malzeme alınarak kuruması için etüve konuldu. Bu şekilde kurutularak hazırlanan malzeme elek serisinin en üstündeki eleğe konularak sarsma makinası ile yaklaşık 10 dakika eleme işlemine tabi tutuldu. Elek üzerinde bulunan malzeme miktarı, eleme sırasında tüm danelerin rahatlıkla hareket edebileceği şekilde ayarlanmalıdır. Elek limitlerini aşan ağırlıklar eleğin deformasyona uğramasına sebep olur. Bu bakımdan, denenecek numuneyi parçalar halinde deneye almak daha uygun olabilir.

Eleme işlemi sonunda her elek üzerinde kalan malzeme tartıldıktan sonra her bir elek için geçen yüzde (%P) değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanarak Tablo 3.te verilmiştir.

$$\%P = \frac{\text{Elekten geçen miktar}}{\text{Elemeye tabi tutulan miktar}} \quad (5)$$

Tablo 3. Agrega granülometrisi

Elek Açıklığı	3/4" - 0 Fraksiyonu % Geçen	3/8" - 0 Fraksiyonu % Geçen
3/4"	100	
1/2"	71.6	
3/8"	58.6	100
No.4	36.1	75.3
No.10	19.2	49.9
No.40	9.2	26.1
No.80	6.1	13.8
No.200	5.5	10.2

Geçen yüzdeler Tablo 3.te verilen şekilde hesaplandıktan sonra, yatay ekseninde dane çapı (D,mm) ve düşey ekseninde geçen yüzde (%P) değerleri işaretlenerek bulunan noktaların birleştirilmesi ile granülometri eğrisi elde edildi. Elde edilen granülometri eğrisinin, bölüm 3.1. de verilen Şekil 1. den de görüleceği gibi aşınma tabakası tip-2 sınıfına göre şartname sınırları içerisinde kaldığı tespit edilmiştir.

Tablo 4. Dane boyutlarına göre malzeme miktarları (5,9).

En BüyükDane Boyutu, mm	Deney İçin Alınacak Minimum Miktar, kg
2.36	0.750
4.75	1
6.3	1.5
8.0	1.750
9.5	2
12.5	2.5
19	5
25	10
37.5	15
50	20
63	25
75	30

Tablo 5. Standart elek serisi (33).

Elek	Net Açıklık, mm
3"	75
2 1/2"	63
2"	50
1 1/2"	35.5
1 1/4"	31.5
1"	25
3/4"	19
5/8"	16
1/2"	12.5
3/8"	9.5
5/16"	8
1/4"	6.3
No.4	4.75
No.5	4.0
No.8	2.36
No.10	2.0
No.12	1.7
No.20	0.850
No.30	0.600
No.40	0.425
No.60	0.250
No.80	0.180
No.100	0.150
No.200	0.075

2.1.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneylei

Agreganın hacim-ağırlık ilişkilei ve suya hassasiyeti, bitümlü karışımındaki boşluk yüzdesi, karışımın teorik özgül ağırlığı ve karışımındaki asfaltla doldurulmuş boşluk yüzdesi bu deneylei vasıtasıyla tayin edilei.

Özgül ağırlık, belirli hacimdeki numune ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranıdır. Esas olarak, Hacim Özgül Ağırlık ve Zahiri Özgül Ağırlık olmak üzere iki özgül ağırlık vardır. Ayrıca agreganın, hacim özgül ağırlığının diğei şekli Doygun Hacim Özgül Ağırlığı olup bunun da hesaplanması gerekir. Özgül ağırlık deneylei, kaba agregası, ince agregası ve mineral filler üzerine ayrı ayrı tatbik edilei.

a. Kaba agreganın özgül ağırlığı ve su emmesi

Denenecek malzemenin 4.75 mm'lik elek üzerinde kalan kısmından 1445.5 gr malzeme alındı. Denenecek numunenin kaba agregası granülometrisini temsil edebilmesi gerekir. Bu bakımdan elek analizi sonuçlarından yararlanılarak 4.75mm'lik elek üstündeki her elek üzerinde kalan malzemenin % kalanları ve bu % kalanların cebrik toplamı bulundu. Elemeye tabi tutulacak miktarın bulunan cebrik toplama bölünmesiyle bir katsayı elde edildi. Bu katsayı, her elek üzerindeki % kalanlarla çarpılarak her boyutta kaba agregası malzemesinin denenecek numunedeki iştirak miktarları belirlendi. Böylece hazırlanan malzeme 24 saat suda bırakıldıktan sonra yüzeyleri bir bezle kurutularak doygun yüzey-kuru hale getirildi ve tartıldı (B). Daha sonra bir tel sepete konularak 25°C deki su dolu kovaya daldırıldı. Bu daldırma işlemini bir kaç kez tekrar edilmek suretiyle agregası daneleri arasındaki hava kabarcıklarının çıkması sağlanır. Tel sepetteki malzeme suda tartılarak ağırlığı belirlendi (C). Sudan çıkarılan malzeme 110°C'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutuldu. Oda sıcaklığında soğutulduktan sonra havadaki ağırlığı tartılarak belirlendi (A). Bütün tartımlarda 0.5 grama duyarlı teraziler kullanılmalıdır. Kaba agregası için özgül ağırlıklar ve su emmesi aşağıdaki gibi hesaplanarak Hacim özgül ağırlığı 2.714, Doygun hacim özgül ağırlığı 2.735, Zahiri özgül ağırlığı 2.773 ve su emmesi % 0.782 olarak belirlendi.

$$\text{Hacim özgül ağırlık} = \frac{A}{B - C} \quad (6)$$

$$\text{Doygun hacim özgül ağırlık} = \frac{B}{B - C} \quad (7)$$

$$\text{Zahiri özgül ağırlık} = \frac{A}{A - C} \quad (8)$$

$$\text{Su emmesi} = \frac{B - A}{A} * 100 \quad (9)$$

A = Numunenin kuru ağırlığı, gr.

B = Numunenin doygun yüzey kuru ağırlığı, gr.

C = Numunenin sudaki ağırlığı, gr.

b. İnce agregata ve mineral fillerin özgül ağırlığı

Yıkanmış ve kurutulmuş malzemenin, 4.75 mm'lik elkten geçip 200 No. lu elek üzerinde kalan kısmından yaklaşık 1500 gr alınarak 24 saat süreyle suda bekletildi. Alınan numunenin, söz konusu aralıkta bulunan her boyuttaki malzemeyi temsil edebilmesi için kaba agregadakine benzer şekilde iştirak miktarları belirlendi. Daha sonra numune, kohezyonunu kaybedinceye kadar oda sıcaklığında kurumaya terk edildi. Böylece doygun-yüzey kuru hale gelmiş malzemedan 500.86 gram alınarak belli hacimdeki piknometreye konulduktan sonra piknometre ile birlikte ağırlığı tartılarak belirlendi (C). Piknometre içerisine numune seviyesini geçecek kadar damıtık su ilave edildi. Damıtık su veya karışımın içinde hava kalmamasını sağlamak için vakum (emme), karıştırma ve sallama gibi işlemler uygulanır. Piknometre doluncaya kadar malzeme üzerine damıtık su ilave edildikten sonra 25⁰C'deki su banyosuna yerleştirildi. Piknometre, içindeki su ve malzeme 25⁰C ye ulaştıklarında su banyosundan çıkarılarak üzeri kurulandı ve tartıldı (D). Sonra piknometre içindeki malzeme alınarak etüvde sabit ağırlığa kadar kurutuldu ve oda sıcaklığında tartılarak ağırlığı belirlendi (E). Böylece ince agreganın özgül ağırlıkları ve su emmesi aşağıdaki gibi hesaplanarak hacim özgül ağırlığı 2.671, doygun hacim özgül ağırlığı 2.700, zahiri özgül ağırlığı 2.749 ve su emmesi % 1.082 olarak belirlendi.

$$\text{Hacim özgül ağırlık} = \frac{E}{(B - A) - (D - C)} \quad (10)$$

$$\text{Doygun hacim özgül ağırlık} = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} \quad (11)$$

$$\text{Zahiri özgül ağırlık} = \frac{E}{B + E - D} \quad (12)$$

$$\text{Su emmesi} = \frac{C - A - E}{E} * 100 \quad (13)$$

A = Piknometrenin boş ağırlığı, gr.

B = Piknometrenin su ile dolu ağırlığı, gr.

C = Piknometrenin doymuş-yüzey kuru numune ile birlikte ağırlığı, gr.

D = Piknometrenin numune ve su ile dolu ağırlığı, gr.

E = Numunenin kuru ağırlığı, gr.

Mineral fillerin özgül ağırlığı, ince agreganın özgül ağırlığının belirlenmesine benzer şekilde belirlendi. Yıkanmış ve kurutulmuş mineral fillerden deney için 20'şer gramlık numuneler üzerinde yapılan deneylerden mineral fillerin özgül ağırlığı 2.780 olarak belirlendi.

2.1.3. Aşınma (Los Angeles) Deneyi

Aşınma deneyi, agregatın aşınma ve darbelenme etkilerine karşı dayanıklılığını belirlemek amacıyla yapılan bir deneydir. Agregatın aşınmaya karşı dayanıklılığı, elde edilen bitümlü karışımın durabilitesi ve kaymaya karşı direnci bakımından son derece önemlidir.

Aşınma deneyi, Tablo 6.da (9) verilen numune sınıflarına göre Tablo 7.de verilen aşındırıcı yükler (çelik küreler) kullanılarak, iç çapı 71.12 cm ve iç uzunluğu 50.8 cm olan içi boş çelik silindir olup yatay eksenini etrafında dönebilecek şekilde yapılmış olan Los Angeles makinası ile yapılır.

Tablo 6. Deney numunelerinin sınıflandırılması

Geçtiği Elek mm (inch)	Kaldığı Elek mm (inch)	Granülometri Sınıfları ve Alınacak Miktarlar, gr.			
		A	B	C	D
37.5 (1 1/2)	25 (1)	1250 ± 25			
25 (1)	19 (3/4)	1250 ± 10			
19 (3/4)	12.5 (1/2)	1250 ± 10	2500 ± 10		
12.5 (1/2)	9.5 (3/8)	1250 ± 10	2500 ± 10		
9.5 (3/8)	6.3 (1/4)			2500 ± 10	
6.3 (1/4)	4.75 (No.4)			2500 ± 10	
4.75 (No.4)	2.36 (No.8)				5000 ± 10
TOPLAM		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Tablo 7. Numune sınıflarına göre küre sayısı ve yükleme ağırlıkları

Numune Sınıfı	Küre Sayısı	Yükleme Ağırlığı, gr.
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Tablo 6.da verilen elek dizisinden kabaca elenen agrega, kil ve tozlardan iyice temizleninceye kadar yıkanarak 110⁰C'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutuldu. Kurutulmuş deney numunesi yine Tablo 6.da verilen sınıflardan B sınıfına göre tartılarak hazırlandı. Böylece hazırlanan numune, aşındırıcı yüklerle birlikte Los Angeles aletine konulup kapak iyice sıkıştırıldıktan sonra, dakikada 30-33 devir yapacak şekilde ayarlanan deney aletine 500 devir yaptırıldı. Sonra numune aletten çıkarılarak 12 No.lu (1.70mm) elekten elendi. 12 No.lu elek üzerinde kalan kısım yıkandıktan sonra 110⁰C'lik etüvde kurutuldu ve hassas olarak tartıldı. Böylece agreganın aşınma kaybı (yüzdesi) aşağıdaki gibi hesaplanarak % 23.57 olarak belirlendi.

$$\text{Aşınma kaybı} = \frac{\text{İlk ağırlık} - \text{Son ağırlık}}{\text{İlk ağırlık}} \quad (14)$$

Asfalt betonu kaplama agregaları için kabul edilen maksimum aşınma kaybı %35 tir (11).

Deney numunesinin sertliğinin üniform dağılıp dağılmadığı tespit etmek maksadıyla numune, 100 devirden sonra makinadan çıkarılarak yıkanmadan 1.70 mm'lik elekten elenerek elek üzerinde kalan kısım tartıldı ve kayıp yüzdesi bulundu. Daha sonra malzemenin tamamı tekrar makineye konarak 400 devir daha yaptırıldı. 100 devir sonunda hesaplanan kayıp yüzdesinin, 500 devir sonunda hesaplanan kayıp yüzdesine oranı 0.14 olarak tespit edildi. Bu oran üniform sertliğe sahip malzemeler için 0.20 den fazla olmamalıdır.

2.1.4. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi (Donma Deneyi)

Hava tesirleri altında kalan agregaların, donma ve çözülme olayları sonucunda granülometrisi bozulur. Agreganın granülometrisinin bozulması, yolun bozulmasına neden olur. O nedenle yol yapımında kullanılan agregaların donma ve çözülmeye karşı istenen sağlamlıkta olması gerekmektedir.

Bu deney metodu, doymuş sodyum sülfat (Na_2SO_4) veya magnezyum sülfat (MgSO_4) çözeltileri kullanılarak agregaların hava tesirleriyle donarak ufalanmaya karşı dirençleri hakkında, laboratuvarında kısa süre içinde bir karar verebilmek amacı ile uygulanan hızlandırılmış bir deneydir.

Deneyde kullanılmak üzere 1 litre suya 250 gram sodyum sülfat tuzu konularak sodyum sülfat çözeltisi hazırlandı. Tuzun ilave edilmesi sırasında çözelti devamlı olarak karıştırılır. Buharlaşmayı önlemek için çözeltinin ağzı kapatılarak 48 saat sabit sıcaklıkta bekletildikten sonra özgül ağırlığı 1.169 olarak tayin edildi. Sodyum sülfat çözeltisinin özgül ağırlığı 1.151 ila 1.174 arasında olmalıdır (5).

Deneyde kullanılacak agreganın, 25, 19, 12.5, 4.75 ve 2 mm'lik eleklerden elenerek elekler arasında kalan malzeme yıkandıktan sonra 110°C'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutuldu. Her elek üzerinde kalan numuneden Tablo 8.de verilen miktarlar esas alınarak deney için gerekli miktarda malzeme alındı. İki kısımdan ibaret olan boyutlarda numuneler aynı kaba konur. Her bir elek üzerinde kalan miktar esas numunenin en az %5'ini temsil etmelidir (5,33).

Tablo 8. Deney için gerekli numune boyut ve miktarları

Elek Açıklığı (mm)	Alınacak Miktar (gr)	Deney Sonunda Elendiği Elek (mm)
4.75 - 2.00 arası	100 ± 0.1	2.00
9.5 - 4.75 arası	300 ± 5	4.0
19 - 9.5 arası İçindekiler :	1000 ± 10	8.0
12.5 - 9.5 arası	330 ± 5	
19 - 12.5 arası	670 ± 10	
37.5 - 19 arası İçindekiler :	1500 ± 50	16.0
25 - 19 arası	500 ± 30	
37.5 - 25 arası	1000 ± 50	
63 - 37.5 arası İçindekiler :	5000 ± 300	31.5
50 - 37.5 arası	2000 ± 200	
63 - 50 arası	3000 ± 300	

Belirtilen şekilde ve miktarlarda hazırlanan numuneler özel tel sepetler veya elekler içine konularak üstü en az 5cm kaplanacak şekilde doymun çözelti içerisine daldırıldı. Kapların üzeri kapatılarak sıcaklığı 21°C olan bir ortamda 17 saat bekletildi. Daldırma süresi sonunda numune çözeltiden çıkarılarak 15 dakika süzölmeye bırakıldı. 110°C'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulduktan sonra oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Numune tekrar çözeltiye daldırılarak bekletme süresi sonunda çıkarılıp kurutuldu. Bu daldırma-kurutma işlemleri 5 kez tekrarlandı. Her kurutma işleminden sonra danelerde dağılma, çözüme, ayrılma, ufalanma ve çatlama olup olmadığı gözlemlendi. 5 devre sonunda etüvden çıkarılan numune soğutulup çözeltiden tamamen temizleninceye kadar su ile yıkandı. Numunenin sülfattan tamamen temizlendiği, yıkama suyuna bir miktar baryum klörür (BaCl₂) karıştırıldığında beyaz bir tortu vermemesi ile anlaşılır. Yıkama sırasında numuneden parça kopmamasına dikkat edilir. Daha sonra 110°C'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulan numunelerin tartılarak ağırlıkları belirlendi. Deneyden önceki ağırlıkla olan farkı alınarak ilk ağırlığa bölünmek suretiyle numunelerin donma kaybı yüzde olarak bulundu. Bu kayıp yüzdeleri esas granüloometri ile çarpılarak düzeltilmiş kayıp yüzdeleri bulundu. Donma kaybı maksimum % 12 olmalıdır (11). Tablo 9. dan da açıkça görüleceği gibi deneye tabi tutulan numunenin her elek üzerinde kalan kısmına ait donma kaybı aşağıdaki gibi hesaplanarak toplam donma kaybı % 2.78 olarak bulunmuştur.

$$\text{Donma kaybı} = \frac{A - B}{A} * 100 \quad (15)$$

A = Deneyden önceki ağırlık, gr

B = Deneyden sonraki ağırlık, gr

Tablo 9. Agreganın donma kaybı

Elek Açıklığı	Numune Granülometrisi		Düzeltilmiş Her Elek Üzerinde % Kalan	Deneyde n Önceki Numune Ağırlığı (gr)	Deneyde n Sonraki Ağırlık (gr)	Deney Sonrası Kayıp (gr)	Düzeltilmiş Kayıp (%)
	% Geçen	Her Elek Üzerinde % Kalan					
		B	C=100*B/A	D	E	F=D-E	G=F*C/D
3/4"	100						
1/2"	85.8	14.2	21.7	676	636.1	39.9	1.28
3/8"	79.3	6.5	9.9	330	314.2	15.8	0.47
No.4	55.8	23.5	36.0	302	296.3	5.7	0.68
No.10	34.6	21.2	32.4	100	98.9	1.1	0.35
Toplam, A = 65.4			100	Numunenin Toplam Donma Kaybı			% 2.78

2.1.5. Soyulma Deneyi

Soyulma, trafiğin ve suyun birlikte etkimesi sonucu kaplamada kullanılan bağlayıcının agregadan ayrılmasıdır. Tabiatıyla, agrega bağlayıcı ile tamamen sarılmış ise soyulma daha zor olacaktır. Bir asfalt kaplamasının ömrü, büyük ölçüde agreganın bağlanma kabiliyetine bağlıdır. Özellikle su sever agregalar ve sıvı asfaltlarla yapılan kaplamalarda, su ve trafik şartları altında agrega ile asfalt arasındaki bağlantı kesilir, dolayısıyla kaplama kısa sürede bozularak elden çıkar. Bu bakımından, penetrasyonu düşük yani bağlayıcılık özelliği yüksek bağlayıcılarla ve soyulmaya karşı direnci yüksek agregalarla yapılan kaplamalar soyulmaya karşı daha dayanıklı olurlar.

Agrega numunesinin 9.5 mm'lik elekten geçen ve 4.75 mm'lik elek üzerinde kalan kısmından yaklaşık 200 gr alınarak saf su ile iyice yıkandıktan sonra 110°C'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutuldu. Böylece hazırlanmış malzemedan 50 gr alınarak beher içine konulduktan sonra 110°C'lik etüvde 1 saat bekletildi. Diğer taraftan agrega numunesi ile karışımı yapılacak bitümlü bağlayıcıdan 2.5 gr alınarak 250 cm³ 'lük beher içerisine konulduktan sonra ısıtılmak üzere 110°C'lik bir kum banyosuna yerleştirildi. Bitümlü bağlayıcı eriyince, etüvde ısıtılmış agregaya derhal behere dökülerek bir cam bagetle bütün agregaya danelerinin üzeri homojen bir bitüm filmi kaplanıncaya kadar kum banyosu üzerinde iyice karıştırıldı. Sonra beher ve içindekiler kür işlemine tabi tutulmak üzere 60°C'lik etüve konularak 24 saat bekletildi. Bu süre sonunda beher etüvden çıkarılarak 110°C'lik kum banyosunda hafifçe ısıtıldıktan sonra 10 cm çapında bir kaba aktarıldı. Kaplanmış agregaların üzeri bir bagetle çok hafif darbelerle düzeltilerek 10 dakika laboratuvar sıcaklığında bekletildi. Sonra kap su ile doldurularak üzeri bir cam kapakla kapatıldıktan sonra tekrar 24 saat bekletilmek üzere 60°C'lik etüve konuldu. Bu süre sonunda kap dışarıya çıkarıldı, agregaları sarımsadan suyu boşaltıldı ve saf su ilave edilerek yandan gelen ışık altında karışımın üst yüzeyi gözle gözlemlendi. Soyulmamış yüzeyin bütün yüzeye oranı, diğer bir ifade ile agreganın soyulmaya karşı direnci % 65 olarak belirlendi. Asfalt betonu için minimum soyulma direnci % 50 olmalıdır (11).

2.2. Bitümlü Bağlayıcılar Üzerinde Yapılan Deneyler

Yol inşaatında kullanılacak bağlayıcının, yapılacak işe ait özel şartnamede istenilen özellikleri sağlayıp sağlamadığını kontrol etmek maksadıyla bir takım deneyler yapılmaktadır. Bu deneylerin, gerçekte, bitümlü bağlayıcının yoldaki tutumu ve davranışı hakkında kesin sonuçlar verdiği ileri sürülemez. Ancak, yapılacak işe uygun bağlayıcının seçiminde yardımcı ve çok faydalı bilgiler sağladığı da bir gerçektir.

Bitümlü karışımlardan beklenen özelliklerin sağlanabilmesi, agreganın yanında karışımda kullanılan bitümlü bağlayıcının özellikleri ile de yakından ilgilidir. Kaplamada kullanılacak bağlayıcının, kıvamı, düktilitesi, içerisindeki yabancı madde miktarı ve bağlanma yeteneği gibi özelliklerinin bilinmesi, elde edilecek karışımın esnekliği, geçirimsizliği, durabilitesi ve yorulmaya karşı direnci bakımından oldukça önemlidir.

Bu itibarla, bağlayıcı özelliklerini belirlemek amacıyla aşağıda verilen standart deney yöntemleri geliştirilmiştir.

- . Özgül Ağırlık Deneyi
- . Kıvam Deneyleri
 - . Penetrasyon Deneyi
 - . Viskozite Deneyi
 - . Yüzdürme Deneyi
 - . Yumuşama Noktası Deneyi
- . Düktilite Deneyi
- . Yanma (Parlama) Noktası Deneyi
- . Damıtma (Distilasyon) Deneyi
- . Çözünürlük Deneyi

Kuşkusuz ki ; bu deney yöntemlerinin tamamının her tür bağlayıcıya uygulanması mümkün değildir. Kullanılacak bağlayıcı türüne göre uygulanacak deney türü de farklı olacaktır.

Sıcak karışımların dizaynında, bitümlü bağlayıcı olarak ne tür bir bağlayıcının kullanılacağı, bitümlü karışımların sınıflandırılması kısmında detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Dolayısıyla, seçilen agreganın, bitümlü sıcak karışım kaplamasındaki (asfalt betonu) performansının hedeflendiği bu çalışmada, benimsenen Marshall metoduna göre sıcak karışım dizaynında bitümlü bağlayıcı olarak asfalt çimentosu kullanılacaktır. Bu bakımdan, bitümlü bağlayıcılar üzerine uygulanan deneylerden asfalt çimentosu üzerine uygulanan deneylerin nasıl yapıldığı anlatılmış, diğer bağlayıcılar üzerine uygulanan deneylerin ise, amaçları, özellikleri ve sonuçlarına ilişkin özet bilgilerin verilmesi uygun ve yeterli görülmüştür.

2.2.1. Özgül Ağırlık Deneyi

Bitümlü bağlayıcının özgül ağırlığı, belli bir hacimdeki bağlayıcı ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranıdır. Bir bağlayıcının özgül ağırlığının bilinmesi, bağlayıcı cinsinin ve ağırlıkla hacim arasındaki ilişkinin bilinmesi bakımından çok önemlidir.

Bağlayıcının özgül ağırlığı, bir piknometre ile tayin edilir. Piknometrenin, hava kabarcıklarının çıkabilmesi için alt yüzeyi iç bükey olan ve içinde 1-2 mm çapında kılcal bir çıkış borusu bulunan bir cam kapağı mevcuttur. Piknometre cam kapağı ile birlikte tartılarak

ağırlığı belirlendi (A). Sonra damıtık su ile tamamen doldurularak tartıldı (B). Piknometre içerisindeki su tamamen boşaltılarak 110⁰C'lik etüvde kurutuldu. Etüvde kurutulduktan sonra piknometre içine uygun miktarda (piknometrenin yaklaşık 2/3 kadar) eritilmiş bağlayıcı konuldu ve tartıldı (C). Eritilmiş malzeme piknometre içine dökülürken kabın üst kısımlarına bulaşmamasına ve hava kabarcıklarının numune içerisinde kalmamasına dikkat edilmelidir. Daha sonra numunenin üzeri damıtık su ile doldurularak yaklaşık 40 dakika 25⁰C'lik su banyosunda bekletildikten sonra tartıldı (D). Asfalt çimentosunun özgül ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanarak 1.021 olarak belirlendi.

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} \quad (17)$$

A = Piknometrenin boş ağırlığı

B = Piknometrenin su ile dolu ağırlığı

C = Piknometrenin bağlayıcı ile birlikte ağırlığı

D = Piknometrenin bağlayıcı ve su ile dolu ağırlığı

Deneyde 0.1 grama duyarlı teraziler kullanılır ve deney 25⁰C de yapılır. Eğer deney farklı sıcaklıkta yapılmış ise kesinlikle deneyin yapıldığı sıcaklık belirtilmelidir. Ayrıca bağlayıcı ve suyun sıcaklığı da belirtilmelidir.

2.2.2. Kıvam Deneyleri

Kıvam, adından da anlaşılacağı gibi asfaltın akışkanlık özelliğinin ölçüsü demektir. Kıvam deneyleri ile asfaltın uygulamada ısıtıldığı sıcaklığındaki akıcılığı, dolayısıyla bağlama yeteneği (bağlayıcılık gücü) belirlenir. Yarı katı asfalt ürünlerinin kıvamı penetrasyon deneyi ile, likit asfaltların orjinal kıvamı viskozite deneyi ile, hafif yağların uçması sonucu geriye kalan çökeleklerin kıvamı, çökelek yarı katı ise penetrasyon deneyi ile, likit ise yüzdürme deneyi ile, zift gibi penetrasyonu sifira eşit olabilen çok katı bağlayıcıların kıvamı ise yumuşama noktası deneyi ile belirlenir.

Bu çalışmada, Marshall metodu ile sıcak karışım dizaynında bitümlü bağlayıcı olarak kullanılacak asfalt çimentosunun kıvamını belirlemek amacıyla penetrasyon deneyi yapıldı. Diğer kıvam deneylerinin ise önemine ve amacına yönelik özet bilgilerin verilmesi uygun görüldü.

2.2.2.1. Viskozite deneyi

Viskozite, bağlayıcının akışkanlık özelliğinin bir ölçüsüdür. Viskozite, kıvamlılığı ifade eden genel bir terim olmakla birlikte esas itibarıyla akmaya karşı direncin bir ölçüsüdür. Viskozite, bir bağlayıcının en önemli fiziksel özelliklerinden biri olup bağlayıcının kullanılacağı kaplamanın başarısına önemli derecede etki eder.

Viskozite ile sıcaklık arasında iyi bir denge sağlanmalı, serme ve sıkıştırma esnasında bağlayıcı tam gerekli viskozitede olmalıdır. Çünkü asfaltın viskozitesi sıcaklığa bağlı olarak değişir. Sıcaklık yükseldikçe viskozite değeri küçülür, sıcaklık düştükçe viskozite değeri yükselir.

Viskozite, standart bir delikten önceden belirtilmiş herhangi bir sıcaklıkta 60 cm^3 sıvının akması için geçen sürenin saniye cinsinden ifadesi olarak belirtilir. Viskoziteyi ölçmek için çeşitli deney yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak, bunlar sıvı petrol asfaltlarına uygulanan yöntemlerdir. Asfalt ürünlerinin tümüne birden uygulanacak bir deney metodu henüz bulunamamıştır (5,7).

2.2.2.2. Penetrasyon Deneyi

Oda sıcaklığında yarı katı halde bulunan asfalt çimentosu veya akıcı olmayan bağlayıcıların kıvamları penetrasyon deneyi ile tayin edilir.

Penetrasyon, standart bir iğnenin, belirli bir yük, sıcaklık ve zaman şartları altında, numuneye düşey olarak batma mesafesidir. Deney şartlarının belirtilmediği durumlarda, ağırlık 100 gr, sıcaklık 25°C ve zaman 5 saniye olarak alınır. Penetrasyon, 10 ila 300 arasında değişen sayılarla ifade edilir. Örneğin deney sonunda aletten okunan değer 70 ise asfaltın penetrasyonu 70 demektir ki ; bu da iğnenin asfalta 7 mm battığı anlamına gelir.

Deneye tabi tutulacak numunedan bir miktar alınarak aşırı ısınmalara sebebiyet vermeden, etüve konularak kolayca akabilecek sıcaklığa getirildi. Hava kabarcıkları kaybolup homojen hale gelinceye kadar karıştırıldıktan sonra numune kabına döküldü. Kabın ağzı kapatılarak 25°C 'lik etüvde 1-1.5 saat soğumaya bırakıldı. Daha sonra numune kabı, taşıma kabı ile birlikte 25°C deki su banyosuna konularak 1-1.5 saat bekletildi. Bundan sonra numune kabını taşıyan ve su ile dolu taşıma kabı, göstergesi sıfıra getirilmiş olan penetrasyon cihazının tablasına yerleştirildi. 100 gr ağırlıkla yüklenen iğne, numune

yüzeyine değecek şekilde ayarlandı. Bu ayarlama, yandan gelen ışık altında, iğne ucunun numune içindeki görüntüsü ile birleştii durumdur. İğne, 5 saniye süreyle asfalta batmak üzere serbest bırakıldı. Bu süre sonunda penetrasyon değeri göstergeden okunarak kaydedildi. İğne, kabın kenarından ve birbirinden en az 1'er cm uzaklıkta batacak şekilde ayarlanarak ölçme 3 kez tekrarlandı. Bu tekrarlar en kısa sürede arka arkaya yapılmalıdır. Her seferinde iğne, uygun bir çözücü ile temizlenmelidir. Her ölçüm sonunda göstergeden okunan penetrasyon değerleri kaydedildi. Kaydedilen bu üç değerin ortalaması alınarak penetrasyon değeri 68 olarak belirlendi. Bu üç penetrasyon değeri arasındaki fark Tablo 10.de verilen sınırları aşmamalıdır.

Tablo 10. Penetrasyon değerlerine göre kabul edilen farklar (5).

Penetrasyon	En Yüksek ve En Düşük Değerler Arasındaki Fark
0 - 49 arası	2
50 - 149 arası	4
150 - 249 arası	6
250	8

Eğer farklar Tablo 10.da verilen değerleri aşarsa ikinci bir numune ile deney tekrarlanır.

Asfalt çimentolarının kıvam derecesini belirleyen penetrasyon değerleri 10 ila 300 arasında değişen sayılarla ifade edilirler. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir husus ; likit asfaltların kıvamını belirten viskozitenin de benzer sayılar ile ifade edilmesidir. Halbuki bunlar çok farklı şeylerdir. Penetrasyon derecesi yükseldikçe daha yumuşak bağlayıcı söz konusudur. Fakat viskozite de durum tamamen terstir.

2.2.2.3. Yüzdürme Deneyi

Ağır katranlar ve yol yağlarının damıtılmasından elde edilen kalıntılar gibi viskozite deneyi için çok kıvamlı ve penetrasyon deneyi için de çok yumuşak olan yarı katı asfaltların kıvamlılığını saptamak için kullanılan bir deneydir. Gerek deney metodu ve gerekse kullanılan alet standarttır (5,7,18).

2.2.2.4. Yumuşama Noktası Deneyi

Yumuşama noktası deneyi, zift gibi penetrasyonu sifira eşit olabilen çok katı haldeki bitümlü bağlayıcıların kıvamlılığını belirlemekte ve belirli bir sıcaklıkta aynı kıvama sahip farklı tür asfaltların ısıtıldıkları zaman kıvamları arasında nasıl bir farklılaşma olduğunu saptamakta kullanılan bir deneydir.

Yumuşama noktası, standart çaplı bir bilyanın, ısıtılarak yumuşatılan bir bağlayıcı zarını geçerek kabın tabanına değdiği andaki sıcaklık derecesidir. Deneyde kullanılan aletler ve deney metodu tüm ayrıntılarıyla standartlaştırılmıştır.

2.2.3. Düktilite Deneyi

Düktilite, yavaş etkiyen yükler altında bağlayıcının esneme kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Asfalt çimentolarının en önemli özelliklerinden biridir. Düktilite değeri yüksek olan asfalt çimentoları, düktilite değeri daha düşük olan asfalt çimentolarına nazaran daha iyi bağlama kabiliyetine sahiptirler. Trafik yüklerinden doğan gerilmeler kaplamalar üzerinde deformasyon hareketleri oluştururlar. Bu sebeple karışım bünyesindeki bağlayıcı yeterli düktiliteye sahip olmadığı zaman ve özellikle soğuk havalarda kaplamada çatlaklar görülür.

Bir asfaltın düktilitesi, asfalt çimentosundan yapılmış standart bir biriketin, belirli sıcaklık ve hız şartları altında çekilmek suretiyle kopmadan uzayabilmesinin cm cinsinden değeridir.

Deneye tabi tutulacak asfalt çimentosu ısıtılarak akıcı hale getirilerek 280 mikrometrelik elekten süzöldükten sonra düktilite kalıbına döküldü. Kalıbın iç yüzeyi ve prinç levha vazelinle yağlanmış olmalıdır. Numune kalıba döküldükten sonra 35 dakika oda sıcaklığında daha sonra 30 dakika da 25°C'lik su banyosunda bekletildi. Su banyosundan çıkarılan kalıbın taşan kısımları sıcak bir spatula ile alınarak 1.5 saat bekletilmek üzere tekrar 25°C'lik su banyosuna konuldu. Sonra su banyosundan çıkarılan briket (numune) alt levhadan ve kalıbın yan parçalarından ayrıldı. Briket hiç vakit geçirilmeden düktilite cihazındaki özel yerine konularak dakikada 5 cm bir hızla kopuncaya kadar çekilmeye uğratıldı. Numunenin tam koptuğu andaki uzama miktarı cihaz cetvelinden okunarak kaydedildi. Numunenin tamamen kopmadığı durumda, iplik şekline geldiği andaki kesit alanının pratikçe sifira eşit olduğu, dolayısıyla koptuğu kabul edilir.

Deney aynı şekilde 3 kez tekrarlandı ve bu üç değerin ortalaması alınarak numunenin düktilitesi 110 olarak belirlendi.

Deney esnasında eğer numune suyun dibine doğru çöküyorsa, suyun özgül ağırlığını artırmak için suya sodyum klorür (tuz)katılır, eğer numune suyun yüzeyine çıkıyorsa suyun özgül ağırlığını düşürmek maksadıyla suya metil alkol katılır.

2.2.4. Yanma (Parlama) Noktası Deneyi

Parlama noktası, asfalt kökenli maddelerin ısıtıldıkları esnada çıkan buharın ufak bir alev temasında parladıkları veya tutuştukları andaki sıcaklıktır. Katran, asfalt ve özellikle de bunların bünyesindeki katbek yağları yanabilir maddelerdir. Bu bakımından, bu malzemelerin tatbiki esnasında yüksek sıcaklık derecesinde çalışırken herhangi bir tutuşma ve yangın tehlikesine karşı dikkatli olunması ve bu malzemelerin parlama noktalarının bilinmesi gerekir. Parlama noktasının tayini için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bunlardan birisi cleveland açık kap yöntemidir. Küçük bir kaba konulan numunenin sıcaklığı dakikada yaklaşık 15⁰C artacak şekilde ısıtılır. 4 mm çapındaki küçük bir alev zaman zaman numune yüzeyine yaklaştırılır. Numune yüzeyinin herhangi bir noktasında alevin görüldüğü andaki sıcaklık değeri numunenin parlama noktası değeridir. Deneye devam edildiğinde numunenin en az 5 saniye süreyle yandığı andaki sıcaklık değeri Yanma noktasıdır (5,18).

2.2.5. Damıtma (Distilasyon) Deneyi

Bu deney, likit bir asfalt ürününün içinde bulunan asfalt çökeleğin miktarını ve cinsini belirlemek maksadıyla yapılır. Bu kalıntı, esas bağlayıcı bünyesinde bulunan hafif yağların zamanla ve yerel koşullar altında uçması halinde geriye kalan kısımdır.

Damıtma deneyi, standart bir balon içindeki herhangi bir bitümlü maddenin belirtilen ısıtma hızlarıyla 360⁰C' ye kadar ısıtılarak damıtılmasıyla elde edilen belirli fraksiyonların toplam destilata göre hacmen yüzdelerinin bulunmasını kapsar.

Bir asfalt numunesi üzerine damıtma deneyi uygulanıyorsa, ayrıca kalıntı ya da kıvam deneylerinden bir uygulanır ise, bu iki sonuç bir arada, denenen likit asfaltın sınıfını belirtir.

2.2.6. Çözünürlük Deneyi

Bu deney, asfaltlar ve yol katranları gibi bitümlü bağlayıcıların, organik çözücüler içerisinde çözünmesi suretiyle hakiki bitüm ve yabancı madde miktarının tayin edilmesini kapsar. Çözücü olarak karbon sülfür, karbon tetraklorür, benzen ve trikloretilen kullanılır.

Deneye başlamadan önce porselenden yapılmış, dibi delikli Gooch krozesi adı verilen aletin hazırlanması gerekir. Bunun için bir miktar asbest lifi, damıtık su içinde dağıtılıp süspansiyon haline getirildi. Kroze, asbest süspansiyonu ile doldurularak bir süre bekledikten sonra hafif bir emme uygulanarak krozenin dibinde bir asbest tabaka oluşturulmuş olur. Bu işleme, kroze kızdırıldıktan sonra 0.5 gram fazlalık meydana gelinceye kadar devam edildi. Sonra krozenin dibindeki asbest tabaka su ile iyice yıkanarak etüvde kurutuldu. Etüvden çıkarılan kroze bek alevi ile kızdırıldıktan sonra desikatörde soğutularak 0.1 mg duyarlılıkla tartıldı. Böylece kroze deney için hazır hale getirildi.

Önceden darası alınmış, yan tarafında çıkış borusu olan 250 cm³ 'lük bir erlen içine 2 gr numune konuldu (A). Üzerine azar azar 100 cm³ çözücü ilave edilerek iyice karıştırıldı. Erlenin ağzı kapatılarak 15 dakika bekletildikten sonra hazırlanmış Gooch krozesi süzme hunisine yerleştirildi. Sonra erlendeki çözelti krozeye aktarılarak süzülmesi sağlandı. Süzüntü, renksiz geçinceye kadar kroze çözücü olarak kullanılan trikloretilen ile yıkandı. Krozedeki bütün çözücü emdirildikten sonra kroze süzme hunisinden çıkarılarak 110⁰C'lik etüvde yaklaşık 20 dakika kurutuldu. Desikatörde soğutularak tartıldı. Krozenin ilk ve son ağırlıkları arasındaki fark çözünmeyen madde miktarını verir (B). Hakiki bitüm ve yabancı madde yüzdesi aşağıdaki gibi hesaplanarak asfalt çimentosu içerisindeki hakiki bitüm yüzdesi 99.4, yabancı madde yüzdesi ise 0.6 olarak belirlendi.

$$\text{Hakiki bitüm yüzdesi} = \frac{A - B}{A} * 100 \quad (18)$$

$$\text{Yabancı madde yüzdesi} = \frac{B}{A} * 100 \quad (19)$$

A = Deneye tabi tutulan bitüm miktarı, gr.

B = Çözünmeyen madde miktarı, gr.

2.3. Marshall Metodu ile Karışım Dizaynı

Ülkemizde ve diğer bir çok ülkede bitümlü kaplama karışımlarının dizaynında kullanılan Marshall metodu, maksimum dane boyutu 2.54 cm (1 inch) veya daha küçük agregaya ihtiva eden ve bağlayıcı olarak asfalt çimentosu kullanılarak hazırlanan sıcak karışım asfalt kaplama karışımlarına uygulanır. Metod, sıcak karışımların laboratuvar dizaynı ve sıcak karışım asfalt kaplamalarının uygulamadaki kontrolleri için kullanılır (4,15,20,27,34).

Marshall metodu ile hazırlanan sıcak karışım dizaynı aşağıdaki işlem sırasına göre yapılacaktır.

- . Agregaya granülometrisinin belirlenmesi
- . Agregaya ve bitümün özgül ağırlıklarının belirlenmesi
- . Agregaya ve bitüm miktarlarının hesabı
- . Briketlerin hazırlanması, ilgili hesaplamalar ve boşluk analizleri
- . Stabilite ve akma değerlerinin bulunması
- . Optimum bitüm miktarının belirlenmesi

2.3.1. Agregaya Granülometrisinin Belirlenmesi

Karışımında kullanılacak değişik boyutlardaki agreganın elek analizi yapılarak karışımın granülometrisi belirlendikten sonra agregaya karışımının granülometri eğrisi çizildi. Tolerans sınırları belirlenerek tolerans eğrisi çizildikten sonra şartname sınır eğrisi çizildi. Karışım granülometrisi eğrisinin, şartname ideal eğrisiyle çakışması her zaman arzu edilen en ideal durumdur. İdeal granülometri eğrisi ile çakışacak veya ona çok yakın bir granülometri sağlayacak karışım oranlarını belirlemek maksadıyla analitik yöntem, grafik yöntem ve tatonman yöntemi olmak üzere üç değişik yöntem kullanılmaktadır. Pratikte genellikle analitik yöntem kullanılır.

Burada, analitik yöntem kullanılarak her elek üzerinde kalan agregaların yüzde kalanlarının cebrik toplamının, şartname ideal granülometrisinin yüzde kalanına eşitlenmesiyle elde edilen bir bilinmeyenli denklem yardımıyla karışım oranları bulundu. Bulunan karışım oranları deneme-yanılma yolu ile daha da ideal hale getirilerek agregaya karışımının granülometrisi elde edildi.

2.3.2. Agregaya ve Bitümün Özgül Ağırlıklarının Belirlenmesi

Agregaya ve bitümün özgül ağırlıklarını belirlemek amacıyla yapılan deneyler daha önceki bölümlerde anlatılmış ve ilgili özgül ağırlık değerleri belirlenmişti. O nedenle burada, her biri değişik özgül ağırlıklara sahip kaba agregaya, ince agregaya ve mineral fillerden oluşan agregaya karışımının, hacim özgül ağırlığı ve zahiri özgül ağırlıklarının nasıl hesaplandığı gösterilecektir. Agregaya karışımı ile ilgili bu özgül ağırlıklar aşağıdaki gibi hesaplanarak agregaya karışımının, hacim özgül ağırlığı 2.698, zahiri özgül ağırlığı ise 2.762 olarak belirlendi.

$$G_{sb} = \frac{\%K + \%I + \%F}{\frac{\%K}{G_{kb}} + \frac{\%I}{G_{ib}} + \frac{\%F}{G_{fa}}} \quad (20)$$

$$G_{sa} = \frac{\%K + \%I + \%F}{\frac{\%K}{G_{ka}} + \frac{\%I}{G_{ia}} + \frac{\%F}{G_{fa}}} \quad (21)$$

- G_{sb} = Agregaya karışımının hacim özgül ağırlığı
 G_{sa} = Agregaya karışımının zahiri özgül ağırlığı
 $\%K, \%I, \%F$ = Kaba agregaya, ince agregaya ve mineral fillerin ağırlıkça yüzdeleri
 G_{kb}, G_{ib} = Kaba agregaya ve ince agreganın hacim özgül ağırlıkları
 G_{ka}, G_{ia}, G_{fa} = Kaba agregaya, ince agregaya ve mineral fillerin zahiri özgül ağırlıkları

2.3.3. Agregaya ve Bitüm Miktarlarının Belirlenmesi

63.5 mm yüksekliğinde ve 100 mm çapındaki bir marshall briketi (numunesi) için yaklaşık 1100-1350 gram agregaya ihtiyaç vardır. Briketler set halinde hazırlanır. Farklı bitüm yüzdelerine sahip her set için 3 briket hazırlanır. Tercihen 5 brikette hazırlanabilir. Bu çalışmada, 6 set için 18 briket yapılacağı düşünülerek her bir briket için 1100 gr agregaya kullanılmasına karar verildi. Dolayısıyla gerekli kuru agregaya miktarı toplam $18 \times 1100 = 19800$ gr olarak belirlendi. Farklı boyutlardaki agregaların karışımındaki yüzdesi ile her briket

için gerekli 1100gr agrega miktarı ile çarpılarak farklı boyutlardaki agregalardan alınan miktarlar, Tablo 11.de gösterilen şekilde belirlendi.

Tablo 11. Her briket için dane boyutlarına göre alınan agrega miktarları

Elek Açıklığı	Karışım Granülometrisi % Geçen	Her Elek Üzerinde % Kalan	Her Briket İçin Alınan Miktar (gr)
3/4"	100		
1/2"	85.8	14.2	$1100 \cdot 0.142 = 156$
3/8"	79.3	6.5	$1100 \cdot 0.065 = 72$
No.4	55.8	23.5	$1100 \cdot 0.235 = 258$
No.10	34.6	55.8	$1100 \cdot 0.558 = 614$
No.40	17.7		
No.80	10.0		
No.200	7.9		
Toplam			1100

Bitüm yüzdesi, agrega ağırlığına göre bitüm yüzdesi ve karışım içindeki bitümün ağırlıkça yüzdesi (normal bitüm yüzdesi) olmak üzere iki şekilde belirlenebilir.

Agrega ağırlığına göre bitüm yüzdesi (W_a) : Hazırlanacak bir brikette, kullanılacak agrega ağırlığına göre ne kadar bitüm katılacağını ifade eder. Briketler, farklı bitüm yüzdelere sahip setler halinde ve bitüm yüzdeleri her set için % 0.5 nispetinde artırılarak hazırlandı. Asfalt betonu aşınma tabakası için 6 set olarak hazırlanan briketlerin her bir seti için bitüm yüzdeleri sırasıyla 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 şeklinde ayarlandı.

Belirlenen bitüm yüzdesi ile hazırlanacak bir brikette, kullanılacak agrega miktarına göre bitüm miktarı şu şekilde hesaplandı.

Örneğin, 1100 gr kuru agrega ile %5 bitüm yüzdesine sahip bir briketin hazırlanabilmesi için gerekli bitüm miktarı : $1100 \cdot 5/100 = 55$ gr dır.

Karışım içindeki bitümün ağırlıkça yüzdesi (W_b) : Normal bitüm yüzdesi olarak ifade edilir. Örneğin, 100 birim kuru agregaya 5 birim bitüm karıştırılırsa, 105 birimlik karışımda: $W_b = 100 \cdot 5/105 = 4.76$ birim bitüm olur.

2.3.4. Briketlerin Hazırlanması ve İlgili Hesaplamalar

Briketler aşağıdaki işlem sırasına göre hazırlandı :

1. Her bir bitüm yüzdesi için 3 briket hazırlanması düşünüldüğü için her brikette kullanılacak agrega miktarı toplam briket sayısına göre ayrı ayrı kaplara doldurularak 24 saat bekletilmek üzere 165⁰C'lik etüve konuldu.

2. Kullanılacak asfalt çimentosu etüve konularak 165⁰C'ye kadar ısıtıldı.

3. Deneyde kullanılması gerekli olan mikser kabı, marshall tokmağı, briket kalıbı, spatula, kürek vb aletler de 165⁰C'lik etüvde ısıtıldı.

4. 165⁰C'lik etüvde ısıtılmış olan agrega yine 165⁰C'lik etüvde ısıtılmış olan karıştırma kabına boşaltılarak kuru olarak karıştırıldı. Bu şekilde hazırlanan agrega içerisine bir çukur açılarak agrega ağırlığına göre karışımın içerisine konulması gereken asfalt miktarı açılan çukura ilave edildi.

5. Asfalt çimentosunun agrega içerisinde üniform bir şekilde dağılmasını sağlamak amacıyla mekanik bir karıştırıcı ile mümkün olduğu kadar çabuk bir şekilde karıştırma işlemi yapıldı.

6. Karışım, kalıba boşaltıldı ve ısıtılmış bir spatula ile iç kısımlarından ve çevresinden 10-15 kez çabukça darbelenerek sıkıca yerleştirildi. Sonra 45.7 cm (18 inch) yükseklikten serbest düşüş yapan sıkıştırma tokmağı ile numunenin ön ve arka yüzüne dizayn trafik sınırlamasına göre belirlenen 75 darbe uygulanarak sıkıştırma yapıldı.

7. Sıkıştırılan numuneler numaralandırılarak kalıpla birlikte soğumaya bırakıldı. Daha çabuk bir soğutma istendiğinde masa vantilatörü kullanılabilir.

8. Numune kalıptan kriko ile çıkarılarak düzgün bir yüzey üzerine konulduktan sonra yaklaşık 15 saat soğumaya bırakıldı.

Briketlerin Yüksekliklerinin Belirlenmesi :

Standart briket yüksekliği 63.5 mm olup stabilite değeri bu standart yüksekliğe göre değerlendirilir. Standart briket yüksekliğine karşılık gelen katsayı 1'dir. Yüksekliğin 63.5 mm den büyük olduğu durumda bu katsayı azalır, 63.5 mm den küçük olduğu durumda ise yükselir. Bu değerler topluca Tablo 12. de verilmektedir. Briketin ölçülen stabilitesi ile numunenin yüksekliğine bağlı katsayının çarpımı, 63.5 mm yüksekliğindeki (standart)

(standart) brikete göre düzeltilmiş stabilite değerini verir. Bunun için bir setteki her briketin değişik yerlerinden üç okuma alınarak bu okumaların ortalaması briket yüksekliği olarak Marshall deney formuna kaydedildi.

Briketlerin Hacimlerinin Belirlenmesi :

Bir briketin hacmi, briketin havadaki ağırlığından sudaki ağırlığının çıkarılması ile elde edilir. Briketlerin önce havada sonra sudaki ağırlıkları hassas bir şekilde tartılarak belirlendikten sonra aşağıdaki gibi hesaplandı.

$$V = B - C \quad (22)$$

V = Briketin hacmi

B = Briketin doygun yüzey-kuru ağırlığı

C = Briketin sudaki ağırlığı

2.3.5. Briketlerin Yoğunluk ve Boşluk Analizleri

Her briket için yoğunluk ve boşluk analizleri bu başlık altında verilen formüller yardımıyla hesaplanarak elde edilen sonuçlar Tablo 22. (Marshall deney formu) de topluca verilmiştir.

Briketin hacim özgül ağırlığı (D_p), briketin havadaki ağırlığının hacmine oranıdır.

$$D_p = \frac{A}{V} \quad (23)$$

D_p = Briketin hacim özgül ağırlığı

A = Briketin havadaki ağırlığı

V = Briketin hacmi

Bitüm yüzdeleri aynı olan (aynı setteki) briketlerin hacim özgül ağırlıkları arasındaki fark 0.02 den fazla olmamalıdır.

Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı (D_T), agrega ağırlığına göre bitüm yüzdesi cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$D_T = \frac{100 + W_a}{\frac{100}{G_{ef}} + \frac{W_a}{G_b}} \quad (24)$$

D_T = Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı

W_a = Agreganın ağırlığına göre bitüm yüzdesi

G_{ef} = Agreganın efektif özgül ağırlığı

G_b = Bitümün özgül ağırlığı

Agrega tarafından emilen asfalt hacmi emilen suyun hacminden daha azdır. Bunun sonucu olarak agreganın efektif özgül ağırlık değeri, hacim ve zahiri özgül ağırlık değerleri arasında olmalıdır. Maksimum teorik özgül ağırlık (D_T) deneyinin yapılamadığı durumlarda agreganın efektif özgül ağırlığı, hacim özgül ağırlık ve zahiri özgül ağırlık değerlerinin ortalaması olarak alınabilir.

Bitüm Emmesi ve Efektif Bitüm Yüzdesi :

$$P_{ba} = 100 * \frac{G_{ef} - G_{sb}}{G_{ef} * G_{sb}} * G_b \quad (25)$$

$$P_{be} = W_a - P_{ba} \quad (26)$$

P_{ba} = Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak emilen bitüm

G_{ef} = Agreganın efektif özgül ağırlığı

G_{sb} = Agreganın hacim özgül ağırlığı

G_b = Bitümün özgül ağırlığı

P_{be} = Agreganın yüzdesi olarak efektif bitüm miktarı

W_a = Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak bitüm

Efektif bitüm yüzdesi, toplam bitüm miktarının agregaların dışını kaplayan kısmıdır ve kaplama karışımının performansına etki edecek bitüm miktarıdır.

Briketlerdeki VMA Yüzdesi :

VMA, Agregalar arası boşluk yüzdesi, efektif bitüm miktarını ve hava boşluğunu içeren, sıkıştırılmış kaplama karışımının agrega daneleri arasındaki boşluk olarak tanımlanır ve toplam hacmin yüzdesi olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

Karışım kompozisyonu agrega ağırlığının % si olarak bulunmuşsa,

$$VMA = 100 - \frac{D_p}{G_{sb}} * \frac{100}{100 + W_a} * 100 \quad (27)$$

Karışım kompozisyonu normal bitüm yüzdesi olarak bulunmuşsa,

$$VMA = 100 - \frac{D_p * (100 - W_b)}{G_{sb}} \quad (28)$$

VMA = Agregalar arası boşluk yüzdesi

D_p = Briketin hacim özgül ağırlığı

G_{sb} = Agreganın hacim özgül ağırlığı

W_a = Agrega ağırlığına göre bitüm yüzdesi

W_b = Normal bitüm yüzdesi

Briketlerin Hava Boşluğu ve Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesinin Hesabı :

Sıkıştırılmış kaplama karışımı içindeki hava boşluğu, asfaltla kaplanmış agrega daneleri arasındaki küçük hava boşluklarından ibarettir.

$$V_h = \frac{D_T - D_p}{D_T} * 100 \quad (29)$$

$$V_f = \frac{VMA - V_h}{VMA} * 100 \quad (30)$$

V_h = Briketteki boşluk yüzdesi

D_T = Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı

D_p = Briketin hacim özgül ağırlığı

V_f = Briketteki asfaltla dolu boşluk yüzdesi

VMA = Briketteki agregalar arası boşluk yüzdesi

2.3.6. Stabilite ve Akma Değerlerinin Belirlenmesi

Briketler, stabilite testine tabi tutulmadan önce yaklaşık 40 dakika 60°C'lik su banyosunda bekletildikten sonra su banyosundan çıkarılarak kurutuldu. Briket, stabilite aletinin kırma kafası içerisine yerleştirildikten sonra sabit bir deformasyon hızıyla kırılma anındaki yük değerine kadar yüklendi. Brikette kırılma meydana geldiği andaki yük miktarı (kg) ve akma miktarı (inch) kaydedildi. Her briket için yük miktarı ve akma miktarı aynı şekilde belirlendi. Marshall stabilite değerini ifade eden yük miktarları, Tablo 12. de verilen düzeltme faktörleri ile çarpılarak her briket için düzeltilmiş stabilite değerleri hesaplandı.

2.3.7. Optimum Bağlayıcı Yüzdesinin Belirlenmesi

Briketlerin, yoğunluk, boşluk ve stabilite analizleri yapıldıktan sonra,

D_p	-	W_a
V_f	-	W_a
V_h	-	W_a
Stabilite	-	W_a
Akma	-	W_a
VMA	-	W_a

grafikleri çizilerek ilk dört grafikten elde edilen bitüm yüzdesi değerlerinin aşağıda gösterildiği gibi ortalaması alınarak karışım dizaynının optimum bitüm yüzdesi 5.25 olarak belirlendi.

$$\text{Optimum bitüm \% si} = \frac{D_p \text{ için } W_a + V_f \text{ için } W_a + V_h \text{ için } W_a + \text{Stabilite için } W_a}{4} \quad (31)$$

Tablo 12. Marshall stabilite faktörleri (27).

numune		numune		numune		numune		numune	
Boy _u (mm)	Faktör	Boy _u (mm)	Faktör	Boy _u (mm)	Faktör	Boy _u (mm)	Faktör	Boy _u (mm)	Faktör
50.0	1.470	55.3	1.256	60.6	1.079	65.9	0.943	71.2	0.834
50.1	1.467	55.4	1.253	60.7	1.076	66.0	0.940	71.3	0.832
50.2	1.463	55.5	1.250	60.8	1.073	66.1	0.938	71.4	0.830
50.3	1.460	55.6	1.247	60.9	1.070	66.2	0.936	71.5	0.829
50.4	1.456	55.7	1.243	61.0	1.067	66.3	0.934	71.6	0.828
50.5	1.453	55.8	1.239	61.1	1.064	66.4	0.932	71.7	0.826
50.6	1.449	55.9	1.235	61.2	1.062	66.5	0.930	71.8	0.825
50.7	1.446	56.0	1.231	61.3	1.059	66.6	0.927	71.9	0.824
50.8	1.442	56.1	1.228	61.4	1.056	66.7	0.925	72.0	0.822
50.9	1.439	56.2	1.224	61.5	1.053	66.8	0.922	72.1	0.821
51.0	1.435	56.3	1.220	61.6	1.050	66.9	0.920	72.2	0.820
51.1	1.432	56.4	1.216	61.7	1.047	67.0	0.918	72.3	0.818
51.2	1.428	56.5	1.214	61.8	1.044	67.1	0.915	72.4	0.817
51.3	1.425	56.6	1.210	61.9	1.040	67.2	0.913	72.5	0.815
51.4	1.421	56.7	1.206	62.0	1.038	67.3	0.911	72.6	0.814
51.5	1.418	56.8	1.202	62.1	1.036	67.4	0.908	72.7	0.812
51.6	1.414	56.9	1.198	62.2	1.033	67.5	0.906	72.8	0.811
51.7	1.411	57.0	1.194	62.3	1.031	67.6	0.904	72.9	0.810
51.8	1.407	57.1	1.190	62.4	1.028	67.7	0.901	73.0	0.809
51.9	1.404	57.2	1.187	62.5	1.026	67.8	0.899	73.1	0.808
52.0	1.400	57.3	1.184	62.6	1.023	67.9	0.897	73.2	0.806
52.1	1.397	57.4	1.181	62.7	1.021	68.0	0.894	73.3	0.804
52.2	1.393	57.5	1.178	62.8	1.018	68.1	0.892	73.4	0.802
52.3	1.390	57.6	1.175	62.9	1.016	68.2	0.890	73.5	0.800
52.4	1.382	57.7	1.172	63.0	1.013	68.3	0.888	73.6	0.799
52.5	1.375	57.8	1.169	63.1	1.011	68.4	0.886	73.7	0.797
52.6	1.368	57.9	1.164	63.2	1.008	68.5	0.885	73.8	0.795
52.7	1.359	58.0	1.161	63.3	1.006	68.6	0.883	73.9	0.794
52.8	1.351	58.1	1.158	63.4	1.003	68.7	0.881	74.0	0.792
52.9	1.344	58.2	1.155	63.5	1.000	68.8	0.879	74.1	0.790
53.0	1.337	58.3	1.152	63.6	0.998	68.9	0.877	74.2	0.788
53.1	1.328	58.4	1.149	63.7	0.995	69.0	0.875	74.3	0.786
53.2	1.320	58.5	1.146	63.8	0.992	69.1	0.874	74.4	0.784
53.3	1.337	58.6	1.143	63.9	0.990	69.2	0.872	74.5	0.782
53.4	1.328	58.7	1.140	64.0	0.988	69.3	0.870	74.6	0.780
53.5	1.320	58.8	1.137	64.1	0.985	69.4	0.868	74.7	0.779
53.6	1.317	58.9	1.133	64.2	0.982	69.5	0.866	74.8	0.777
53.7	1.314	59.0	1.130	64.3	0.980	69.6	0.864	74.9	0.776
53.8	1.311	59.1	1.127	64.4	0.978	69.7	0.862	75.0	0.775
53.9	1.308	59.2	1.124	64.5	0.975	69.8	0.860	75.1	0.773
54.0	1.305	59.3	1.120	64.6	0.972	69.9	0.858	75.2	0.772
54.1	1.302	59.4	1.117	64.7	0.970	70.0	0.856	75.3	0.771
54.2	1.299	59.5	1.114	64.8	0.967	70.1	0.854	75.4	0.770
54.3	1.296	59.6	1.110	64.9	0.965	70.2	0.852	75.5	0.769
54.4	1.293	59.7	1.107	65.0	0.962	70.3	0.850	75.6	0.767
54.5	1.290	59.8	1.104	65.1	0.960	70.4	0.849	75.7	0.766
54.6	1.286	59.9	1.100	65.2	0.957	70.5	0.847	75.8	0.765
54.7	1.283	60.0	1.097	65.3	0.955	70.6	0.845	75.9	0.764
54.8	1.280	60.1	1.094	65.4	0.953	70.7	0.843	76.0	0.762
54.9	1.277	60.2	1.090	65.5	0.951	70.8	0.841	76.1	0.761
55.0	1.274	60.3	1.088	65.6	0.949	70.9	0.839	76.2	0.760
55.1	1.271	60.4	1.085	65.7	0.947	71.0	0.837	76.3	0.759
55.2	1.268	60.5	1.082	65.8	0.945	71.1	0.836	76.4	0.758

3. BULGULAR VE İRDELEME

Bu bölümde, bitümlü karışımda kullanılacak agrega ve bitümlü bağlayıcıya ait özelliklerin belirlenmesi maksadıyla yapılan deneylerden ve bu malzemelerin Marshall metoduna göre karışım dizaynından elde edilen bulgular verilmekte ve bunların ne anlama geldiği irdelenmektedir.

3.1. Agregalar Üzerinde Yapılan Deneylerden Elde Edilen Bulgular ve İrdeleme

Agrega karışımının granülometrisi, Yollar Fenni Şartnamesi Aşınma Tip-2 sınırları ve tolerans limitleri içinde kalacak şekilde hesaplanmış ve Tablo 13. de topluca verilmiştir.

3/4 - 0 fraksiyonu agrega ağırlıkça % 50

3/8 - 0 fraksiyonu agrega ağırlıkça % 50

Tablo 13. Karışım granülometrisi ve şartname limitleri

Elek Açıklığı	Karışım Oranları % Geçen		Karışımın Granülometrisi % Geçen	Tolerans Limitlerine Göre % Geçen	Yollar Fenni Şartnamesi Aşınma Tip-2 % Geçen
	3/4 - 0 fraksiyonu % 50	3/8 - 0 fraksiyonu % 50			
3/4"	50	50	100	100	100
1/2"	35.8	50	85.8	80.8 - 90.8	77 - 100
3/8"	29.3	50	79.3	74.3 - 84.3	66 - 84
No.4	18.1	37.7	55.8	50.8 - 60.8	46 - 66
No.10	9.6	25.0	34.6	30.6 - 38.6	30 - 50
No.40	4.6	13.1	17.7	13.7 - 21.7	12 - 28
No.80	3.1	6.9	10.0	6.0 - 14.0	7 - 18
No.200	2.8	5.1	7.9	5.9 - 9.9	4 - 10

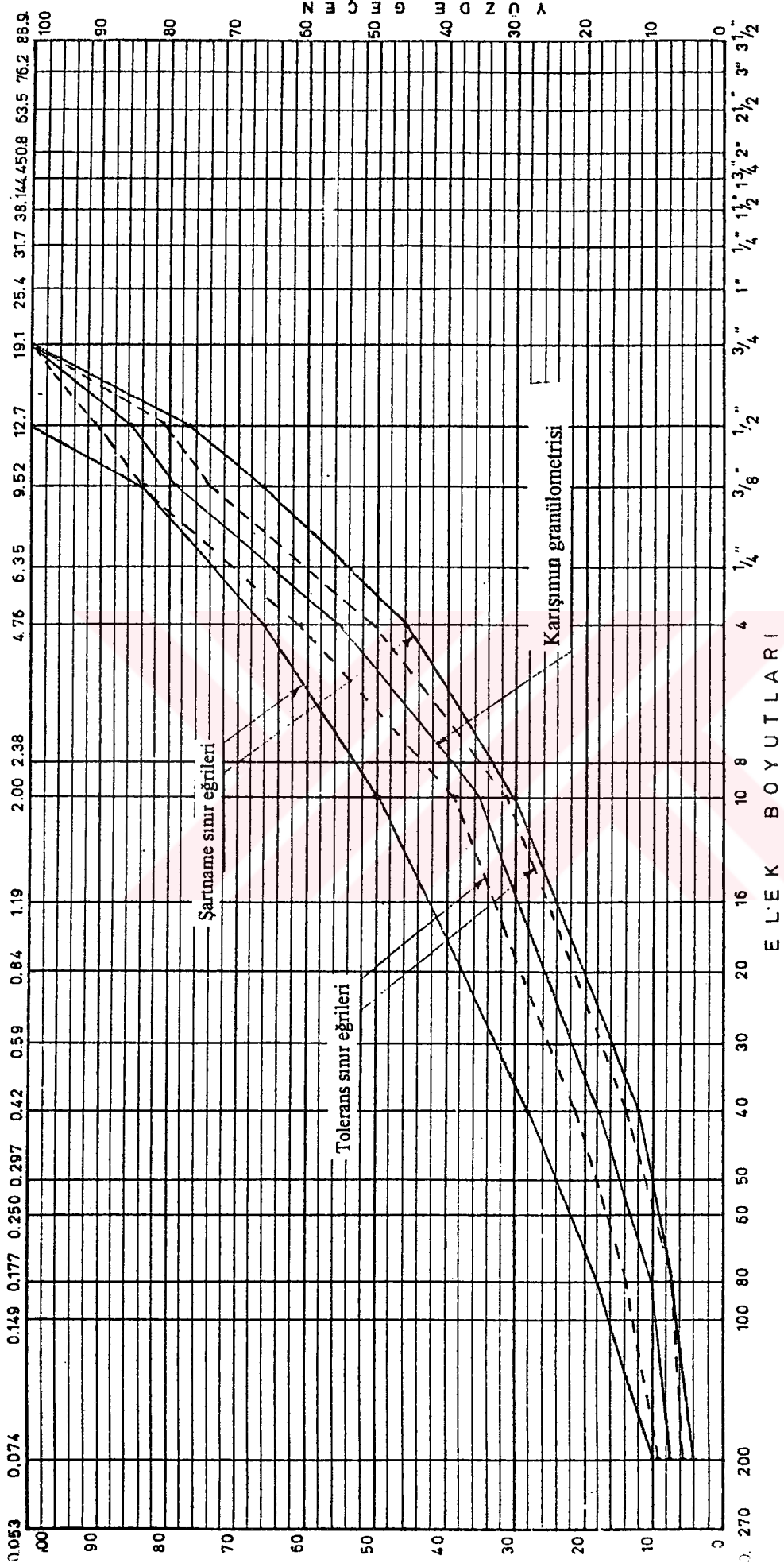
Tablo 13.de verilen şartname sınırları ve agregâ karışımına ait granülometri eğrisi Şekil 1. de verilmiştir. Granülometri ve tolerans eğrilerinin daima şartname eğrilerinin içinde kalması gerekir.

Şartname tolerans limitleri :

No.4 ve daha büyük eleklerden geçenler için	$\pm \% 5$
No.10 dan geçenler için	$\pm \% 4$
No.200 den geçenler için	$\pm \% 2$

Kaba agregâ, ince agregâ ve mineral filler üzerinde yapılan özgül ağırlık deneylerinden elde edilen sonuçlar sırasıyla Tablo 14., Tablo 15. ve Tablo 16. da, aşınma deneyinden elde edilen sonuçlar Tablo 17. de verilmiştir.





Şekil 1. Granülometri eğrisi

Tablo 14. Kaba agreganın özgül ağırlıkları ve su emmesi

A	Agreganın havadaki ağırlığı, gr	1445.5
B	Doygun - yüzey kuru ağırlığı, gr	1456.8
C	Doygun halde sudaki ağırlığı, gr	924.2
$A/(A-C)$	Zahiri özgül ağırlık	2.773
$A/(B-C)$	Hacim özgül ağırlık	2.714
$B/(B-C)$	Doygun hacim özgül ağırlık	2.735
$100*(B-A)/A$	Su emmesi	% 0.782

Tablo 15. İnce agreganın özgül ağırlıkları ve su emmesi

A	Piknometre ağırlığı, gr	163.89
B	Piknometre + su ağırlığı, gr	661.15
C	Piknometre+doygun - yüzey kuru ağırlığı, gr	664.75
D	Piknometre + numune + su ağırlığı, gr	976.53
E	Numunenin kuru ağırlığı, gr	495.50
$E/(B+E-D)$	Zahiri özgül ağırlık	2.749
$E/((B-A)-(D-C))$	Hacim özgül ağırlık	2.671
$(C-A)/((B-A)-(D-C))$	Doygun hacim özgül ağırlık	2.700
$100*(C-A-E)/E$	Su emmesi	% 1.082

Tablo 16. Mineral fillerin özgül ağırlığı

A	Piknometre ağırlığı, gr	80.23	79.16
B	Piknometre + su ağırlığı, gr	306.88	248.13
C	Piknometre + kuru numune ağırlığı, gr	100.23	99.16
D	Piknometre + numune + su ağırlığı, gr	319.68	260.94
$(C-A)/((B-A)-(D-C))$	Zahiri özgül ağırlık	2.778	2.782
Ortalama		2.780	

Tablo 17. Agreganın aşınma kaybı

A	Numunenin ilk ağırlığı, gr	5006.7
B	Numunenin son ağırlığı, gr	3826.6
$100*(A-B)/A$	Aşınma kaybı	% 23.57

Agreganın donma kaybı :

Agrega malzemesinin orjinal granülometrisi esas alınarak her elek üzerinde kalan malzemenin karışıma iştirak yüzdeleri nispetinde alınan numuneler üzerinde yapılan donma deneyi sonucunda agreganın toplam donma kaybı % 2.78 olarak bulunmuştur.

Agreganın soyulma direnci :

Agreganın su tesirine karşı dayanıklılığını, yani soyulmaya karşı direncini belirlemek amacıyla karışımda kullanılacak asfalt çimentosu ile bölüm 2.1.6. da anlatıldığı şekilde yapılan deney sonucunda, agreganın soyulmaya karşı direnci % 65 olarak belirlenmiştir.

Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Agreganın granülometrisini belirlemek amacıyla yapılan elek analizi sonunda elde edilen granülometri eğrisinin, şartname ve şartnamenin ön gördüğü tolerans sınırları içerisinde kaldığı tespit edilmiştir.

Yol yapımında kullanılan agreganın, fiziksel özellikleri, özellikle de ağır trafikli yollarda, ağır trafik yükleri, ısı değişimleri ve suyun etkisine maruz kalan yolun, hizmet süresinin uzunluğu bakımından son derece önemlidir.

Kaplamada kullanılan agreganın, aşınmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Aşınma direncinin yetersiz olduğu durumlarda yol yüzeyinde kayma tehlikesi görülür. Trafik yükleri altında kırılmayacak derecede sağlam olmalıdır. Ayrıca kaplamada kullanılan bütün agregalar suyun etkisi altındadırlar. O nedenle kaplamada kullanılan agreganın, aynı zamanda soyulmaya karşı direnci de yüksek olmalıdır. Bu itibarla, Torul Kalker Taşocağı agregası üzerinde kalite kontrol deneyleri yapılarak agreganın fiziksel özellikleri belirlendi. Agreganın üzerinde yapılan deneyler sonunda, agreganın su emmesinin % 0.782, aşınma kaybının % 23.57, donma

kaybının % 2.78 ve soyulmaya karşı direncinin % 65 olarak belirlendiği, dolayısıyla söz konusu agreganın, ağır trafikli yollarda kaplama tabakasında kullanılacak derecede iyi niteliklere sahip olduğu tespit edilmiştir.

3.2. Asfalt Çimentosu Üzerinde Yapılan Deneylerden Elde Edilen Bulgular ve İrdeleme

Asfalt çimentosu üzerinde yapılan özgül ağırlık, penetrasyon, duktilite ve çözünürlük deneylerinden elde edilen sonuçlar sırasıyla Tablo 18., Tablo 19., Tablo 20. ve Tablo 21. de verilmiştir.

Tablo 18. Asfalt çimentosunun özgül ağırlığı

A	Piknometrenin boş ağırlığı, gr	22.51
B	Piknometre + su ağırlığı, gr	76.51
C	Piknometre + numune ağırlığı, gr	47.72
D	Piknometre + numune + su ağırlığı, gr	77.04
$(C-A)/((B-A)-(D-C))$	Özgül ağırlık	1.021

Tablo 19. Asfalt çimentosunun penetrasyonu

Deney No	Penetrasyon (0.1mm)	Ortalama Penetrasyon
1	70	68
2	67	
3	68	

Tablo 20. Asfalt çimentosunun duktilitesi

Deney No	Duktilite, cm	Ortalama Duktilite
1	110	110
2	108	
3	112	

Tablo 21. Asfalt çimentosu içindeki yabancı madde miktarı

A	Deneyde kullanılan numune miktarı, gr	2.00
B	Çözünmeyen madde miktarı, gr	0.012
$100 \cdot B/A$	Yabancı madde, %	0.6
$100 \cdot (A-B)/A$	Hakiki bitüm, %	99.4

Asfalt çimentosunun kıvamı (penetrasyonu), kaplamanın başarısına etki eden en önemli özelliğidir. Çünkü sıcaklığa bağlı olarak değişen bu özellik karışımın özelliklerine de yansır. Ayrıca karışımda kullanılacak asfalt çimentosunun duktilitesi de özellikle karışımın yorulmaya karşı direnci bakımından oldukça önemlidir. Dolayısıyla iklim koşulları dikkate alınarak, yapım ve trafik durumuna uygun özellikte asfalt çimentosunun kullanılması gerekir. Bu bakımdan karışımda kullanılacak asfalt çimentosunun kıvamı, duktilitesi ve yabancı madde oranı gibi özelliklerinin belirtilmesi ve bu özelliklerin kesinlikle ilgili şartname sınırları içerisinde olması gerekir. Bu itibarla, karışımda kullanılacak asfalt çimentosunun, karışımın başarısında önemli rolü olan özelliklerinin belirlenmesi maksadıyla yapılan deneylerden elde edilen sonuçların, yapılması tasarlanan kaplama tipine ilişkin şartname sınırları içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

3.3. Marshall Metodu ile Yapılan Karışım Dizaynından Elde Edilen Bulgular ve İrdeleme

3.3.1. Karışımda Kullanılan Agregalar ve Bitüm Miktarları

Karışımda kullanılacak agreganın elek analizleri yapılmış ve agregalar karışımının granülometrisi, bu bölümün başında verilmişti. Agregalar karışımının granülometrisine göre her briket için 1100 gr agregalar numunesi ile karıştırılmak üzere her set için agregalar ağırlığına göre bitüm yüzdeleri sırasıyla, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 ve 6.0 olarak belirlenmiştir. Bu bitüm yüzdelerinde hesaplanan bitüm miktarları Tablo 22. (Marshall deney formu) de topluca verilmektedir.

3.3.2. Yoğunluk, Boşluk ve Stabilitate Analizleri

Agrega karışımının granülometrisine göre, karışımdaki agrega yüzdeleri şu şekildedir :

$$\text{Kaba agrega yüzdesi, } \% K = 100 - 55.8 = 44.2$$

$$\text{İnce agrega yüzdesi, } \% İ = 55.8 - 7.9 = 47.9$$

$$\text{Filler yüzdesi, } \% F = 7.9$$

Agrega ve asfalt çimentosu üzerinde yapılan deneylerden elde edilen özgül ağırlık değerleri aşağıda topluca verilmektedir.

$$\text{Bitümün özgül ağırlığı} = 1.021$$

$$\text{Kaba agreganın hacim özgül ağırlığı} = 2.714$$

$$\text{Kaba agreganın zahiri özgül ağırlığı} = 2.773$$

$$\text{İnce agreganın hacim özgül ağırlığı} = 2.671$$

$$\text{İnce agreganın zahiri özgül ağırlığı} = 2.749$$

$$\text{Fillerin zahiri özgül ağırlığı} = 2.780$$

$$\text{Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı, } G_{sb} = \frac{100}{\frac{44.2}{2.714} + \frac{47.9}{2.671} + \frac{7.9}{2.780}} = 2.698$$

$$\text{Agrega karışımının zahiri özgül ağırlığı, } G_{sa} = \frac{100}{\frac{44.2}{2.773} + \frac{47.9}{2.749} + \frac{7.9}{2.780}} = 2.762$$

$$\text{Agrega karışımının efektif özgül ağırlığı, } G_{ef} = 2.730$$

$$\text{Agreganın bitüm emmesi, } P_{ba} = 100 * \frac{2.730 - 2.698}{2.730 * 2.698} * 1.021 = 0.44$$

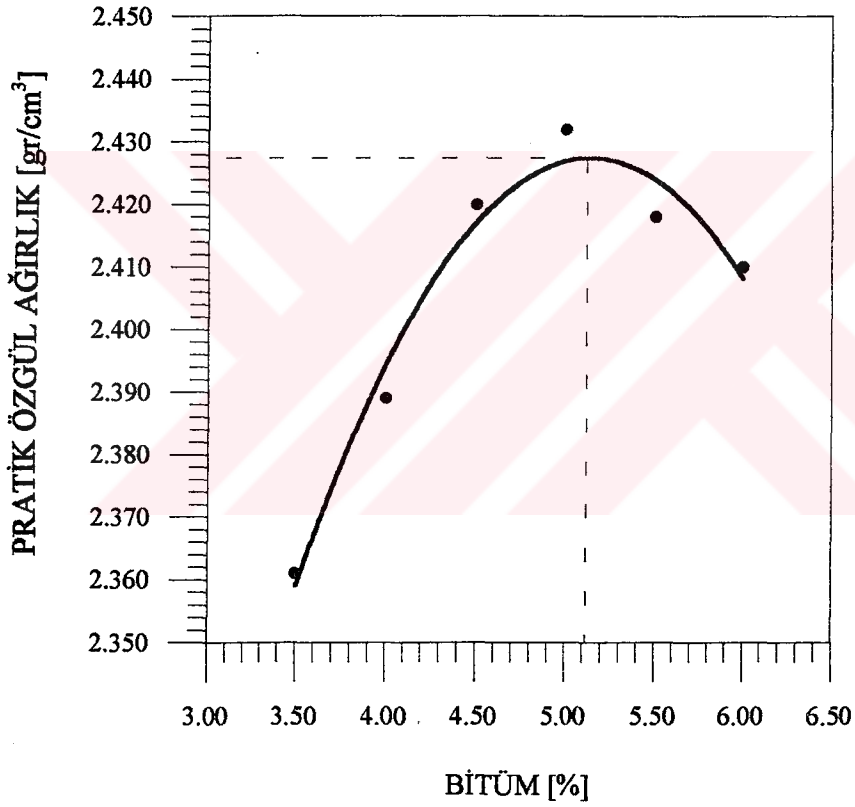
Karışım ile ilgili bu genel hesaplar yapıldıktan sonra, her briket için gerekli yoğunluk, boşluk ve stabilite analizleri bölüm 2.3.'te gösterildiği şekilde yapılmış ve Tablo 22. (Marshall deney formu) de toplu bir şekilde verilmiştir.

Tablo 22. Marshall deney formu

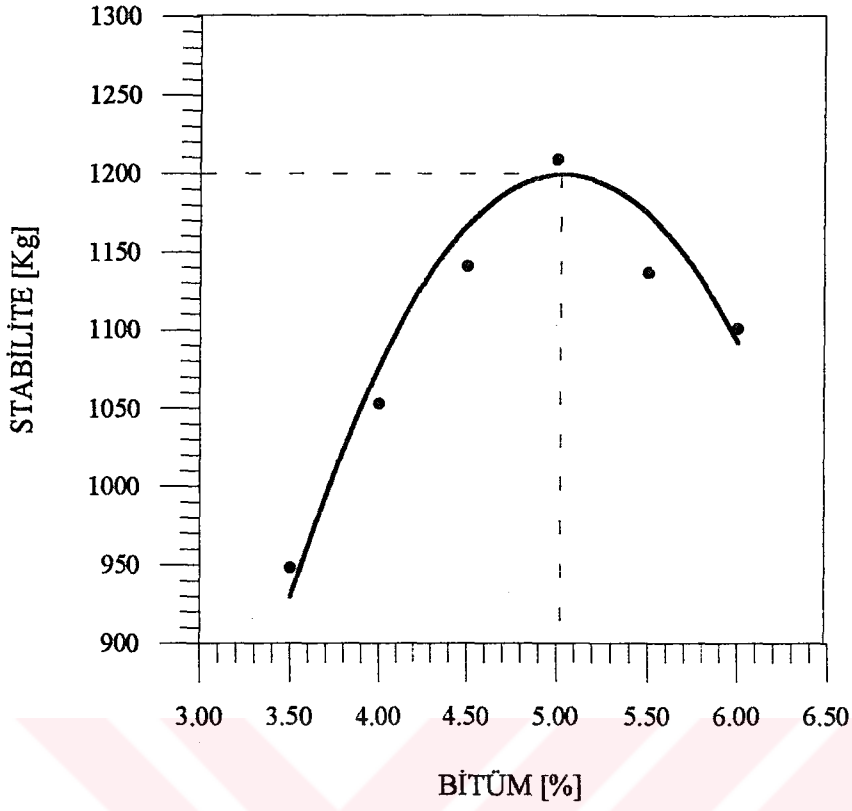
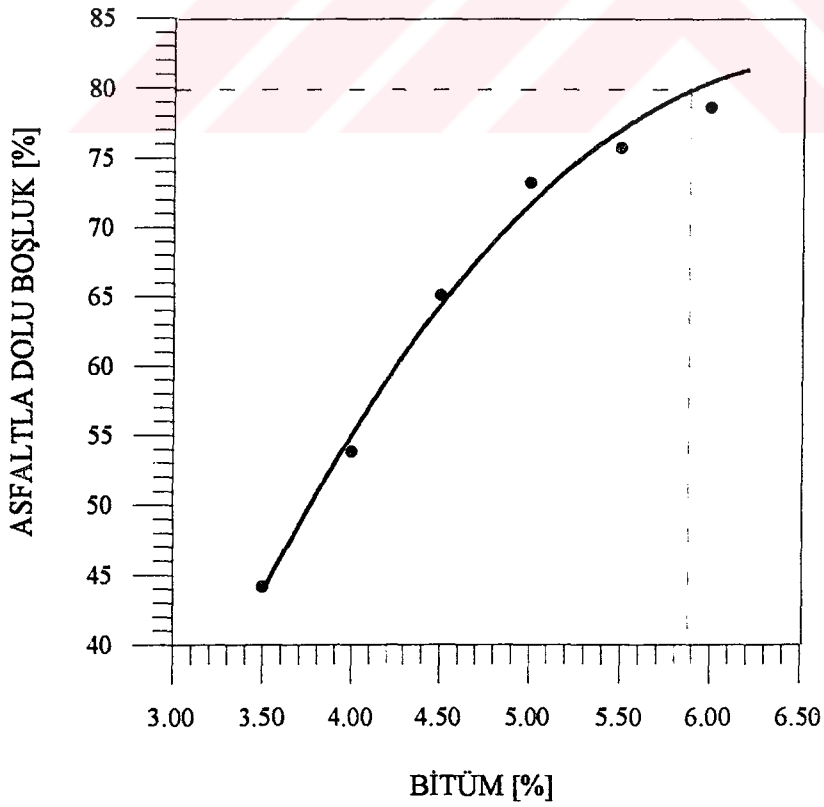
BİRİKTİRME NO:	BİRİKTİRME YÖNSELİĞİ		BİRİKTİRME YÖNSELİĞİ			HAYADAKİ AĞIRLIK (g)	SUDAKİ AĞIRLIK (g)	DOYUZ K. AĞIRLIK (g)	HACİM (cm ³)	HAC. ÖZ. AĞIRLIK (g/cm ³)	MAKİNE ÖZ. AĞIRLIK (g)	BOSLUK % (V _b)	VMA %	ASE DOLU BOSLUK % (V _f)	ASMA (mm)	STABİLİTE (g)	DÜZELTME FAKTÖRÜ	DÜZELTİLMİŞ STABİLİTE	FORMÜLLER										
	1	2	3	ORT	A															B	V	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄				
1	3.5	3.38	39	60.4	60.4	60.3	1137.0	659.1	477.9	2.365	2.384	8.63	15.45	44.14	2.5	972	1.084	1054	$V = B - C$										
2	"	"	"	61.5	62.3	61.5	1137.5	638.3	479.2	2.355					2.8	906	1.043	945	$DP = \frac{A}{V}$										
3	"	"	"	62.0	62.2	62.6	1148.2	664.9	483.3	2.363					2.6	820	1.030	845	$DT = \frac{100 + W_a}{100} \cdot \frac{W_g}{G_{ef} + G_b}$										
ORTALAMALAR																													
4	4	3.85	44	60.1	60.2	60.1	1145.8	666.1	470.3	2.385	2.384	8.63	15.45	44.14	2.6	913	1.096	948	$V_h = \frac{DT - DP}{DT} \cdot 100$										
5	"	"	"	62.5	62.8	62.9	1144.5	675.6	476.9	2.399					2.5	1013	1.070	1110	$G_{sb} = \frac{100}{G_k + \frac{\%K}{G_i} + \frac{\%F}{G_f}}$										
6	"	"	"	61.5	61.5	61.8	1148.0	667.9	480.1	2.383	2.565	6.86	14.86	53.83	3.3	1056	1.070	1077	$VMA = 100 - \frac{DP(100 - W_s)}{G_{bb}}$										
ORTALAMALAR																													
7	4.5	4.31	50	61.7	61.8	62.1	1144.2	676.7	473.8	2.415	2.546	4.95	14.17	65.06	3.5	1231	1.040	1281	$V_f = \frac{VMA - V_h}{VMA} \cdot 100$										
8	"	"	"	62.9	62.3	62.5	1153.8	679.1	478.8	2.419					3.4	1107	1.073	1132	$P_{ba} = 100 \left(\frac{G_{ef} - G_{bb}}{G_{ef} \cdot G_{bb}} \right) \cdot G_b$										
9	"	"	"	61.5	61.4	61.4	1148.1	678.4	473.2	2.426	2.528	3.79	14.15	73.21	3.6	1057	1.074	1135											
ORTALAMALAR																													
10	5	4.76	55	60.7	60.7	61.1	1146.9	678.5	471.4	2.432	2.528	3.79	14.15	73.21	3.9	1140	1.071	1221											
11	"	"	"	61.7	61.9	60.8	1147.9	680.9	469.6	2.444					3.6	1067	1.062	1209											
12	"	"	"	60.8	60.8	61.0	1145.8	674.8	472.9	2.422	2.510	3.66	15.05	75.68	4.1	1060	1.046	1109											
ORTALAMALAR																													
13	5.5	5.21	61	61.1	61.3	61.2	1154.9	680.5	479.1	2.411	2.694	3.37	15.73	78.38	4.0	1020	1.081	1103											
14	"	"	"	61.6	61.8	61.7	1156.1	681.2	477.3	2.422					3.7	1020	1.081	1103											
15	"	"	"	61.2	61.2	60.9	1158.1	682.1	478.2	2.422					4.2	1176	1.078	1268											
ORTALAMALAR																													
16	6	5.66	66	60.6	60.4	60.7	1163.2	681.7	481.3	2.414	2.694	3.37	15.73	78.38	4.4	873	1.068	932											
17	"	"	"	60.8	60.6	60.8	1164.2	680.6	484.2	2.404					4.4	873	1.068	932											
18	"	"	"	60.7	61.4	61.0	1163.9	681.9	482.6	2.412	2.694	3.37	15.73	78.38	4.1	1101		1101											
ORTALAMALAR																													
															Kaba agrega hac. öz. ağı. (G _k)					= 2.714									
															İnce agrega hac. öz. ağı. (G _i)					= 2.671									
															Filler zabit öz. ağı. (G _f)					= 2.780									
															Binalıteksi agrega miktar					= 1100 gr									
Bittimin özgül ağırlığı (G _s)															= 1.021					Kaba agrega yığılması (% K)					= 44.2				
Bittimin porozite oranı															= 68					İnce agrega yığılması (% I)					= 47.9				
Agreganın bittim absorpsiyonu (P _{ba})															= 0.44					Filler yığılması (% F)					= 7.9				
Agrega kar. efektif öz. ağı. (G _{ef})															= 2.720					Agrega kar. hac. öz. ağı. (G _{ba})					= 2.698				

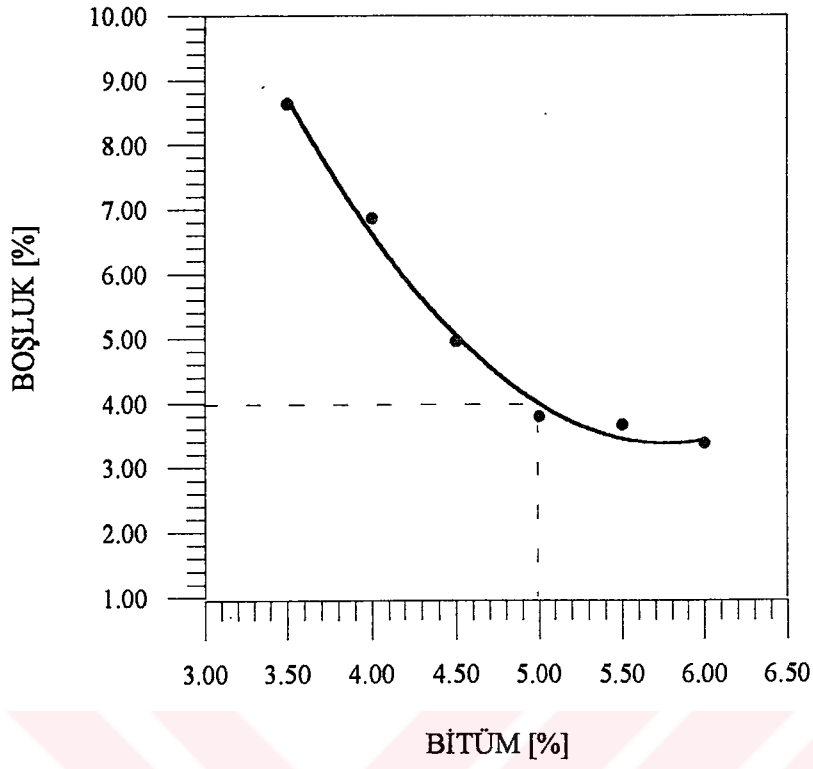
3.3.3. Marshall Metodu İle Karışım Dizaynından Elde Edilen Grafikler ve Optimum Bitüm Yüzdesindeki Deney Sonuçları

Her briket için gerekli yoğunluk, boşluk ve stabilite analizleri yapıldıktan sonra her set için ortalama değerler Tablo 22. de gösterildiği şekilde bulunarak şekil 2., şekil 3., şekil 4., şekil 5., şekil 6. ve şekil 7. de görülen grafikler elde edilmiştir.

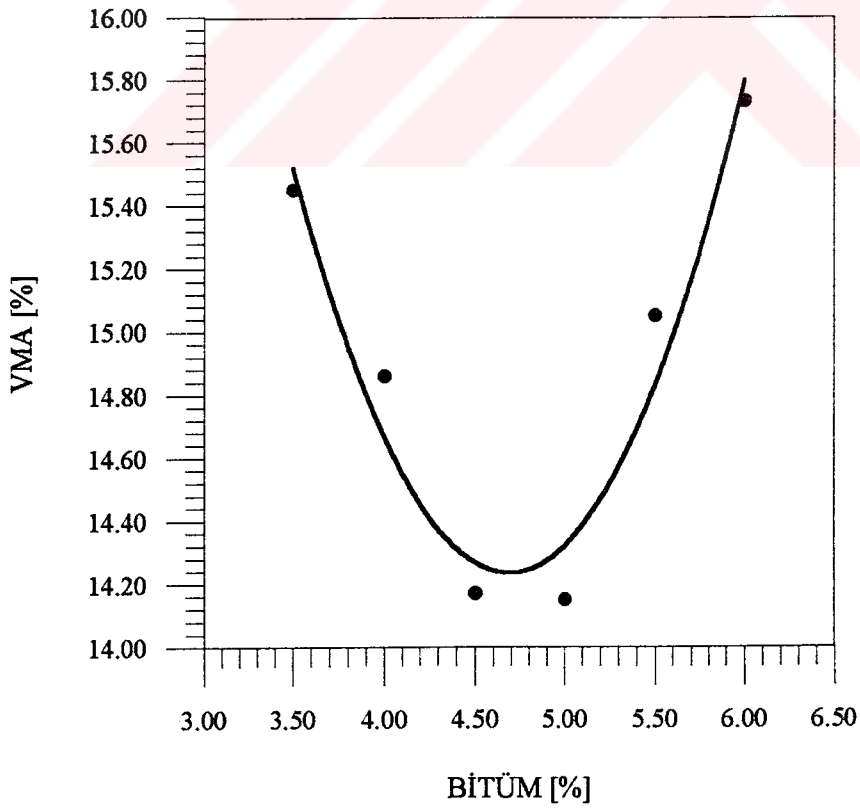


Şekil 2. $D_p - W_a$ grafiği

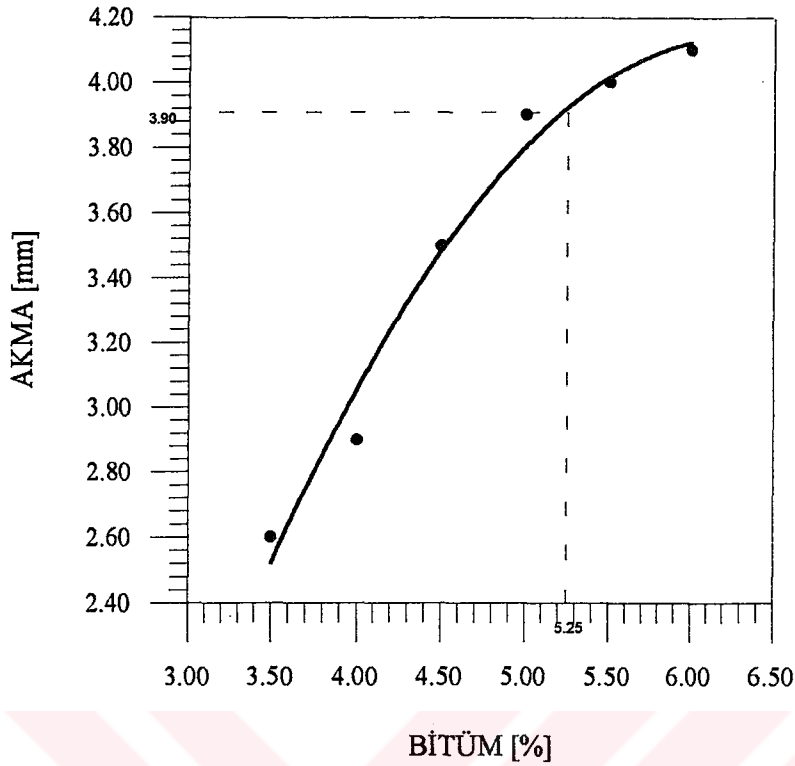
Şekil 3. Stabilite - W_a grafiğiŞekil 4. Asfaltla dolu boşluk - W_a grafiği



Şekil 5. Boşluk yüzdesi - W_a grafiği



Şekil 6. VMA - W_a grafiği



Şekil 7. Akma - W_a grafiği

Yukarıda görüldüğü şekilde elde edilen bu grafiklerden şekil 2. de maksimum özgül ağırlığı veren asfalt çimentosunun % 5.12 olduğu ve şekil 3. te Marshall stabilitesinin maksimum olduğu durumda asfalt çimentosunun % 5.01 olduğu görülmektedir. Şekil 4. te şartnamede asfalt betonu aşınma tabakası için öngörülen asfaltla dolu boşluk yüzdesi sınırlarının arasında kalan % 80 asfaltla dolu boşluk yüzdesine karşılık gelen asfalt çimentosunun % 5.88 olduğu, yine şartname sınırları arasında orta değere karşılık gelen % 4 boşluk oranındaki asfalt çimentosunun % 4.99 olduğu görülmektedir. Bu şekilde bulunan dört asfalt çimentosu yüzdelерinin ortalaması alınarak optimum bitüm yüzdesi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Optimum bitüm yüzdesi} = \frac{5.12 + 5.01 + 5.88 + 4.99}{4} = 5.25$$

Elde edilen optimum bitüm yüzdesine göre karışım dizaynı sonuçları aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Stabilite	=	1193 kg
D_p	=	2.427 gr/cm ³
Asfaltla Dolu Boşluk	=	% 78.5
Boşluk	=	% 3.7
Akma	=	3.90 mm

Grafiklerin Yorumu ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Şekil 2. de verilen $D_p - W_a$ grafiğinden de görüleceği gibi, bitüm yüzdesi arttıkça, pratik özgül ağırlık artarak bir maksimumdan geçmekte ve sonra düşmektedir. Şekil 3. te verilen Stabilite - W_a grafiğinde de benzer durum görülmektedir. Şekil 4. te verilen Asfaltla dolu boşluk - W_a grafiğinde, bitüm yüzdesinin artmasıyla birlikte asfaltla dolu boşluk yüzdesinin arttığı görülmektedir. Şekil 5. te verilen Boşluk - W_a grafiğinde, boşluk yüzdesi, bitüm yüzdesinin artması ile minimum bir boşluk yüzdesine yaklaşarak düşmektedir. Şekil 6. da verilen VMA - W_a grafiğinde, bitüm yüzdesi arttıkça, agregalar arası boşluğun azalarak bir minimumdan geçtiği ve sonra yükseldiği görülmektedir. Şekil 7. de verilen Akma - W_a grafiğinde ise akma değerlerinin, bitüm yüzdesinin artmasıyla birlikte arttığı görülmektedir. Asfalt betonu kaplamalarının trafik yükleri altında davranışını yansıtan akma değeri, şartnamelerde sınırlandırılmıştır. Optimum bitüm yüzdesine karşılık gelen bütün bu değerlere sahip karışımın, yola tatbik edilebilmesi ve kaplamanın kendisinden beklenen başarıya ulaşabilmesi bakımından elde edilen bu değerlerin şartname sınırları içerisinde olması gerekir. Asfalt betonu için şartname dizayn kriterleri Tablo 23. te verilmiştir. Buna göre elde edilen sonuçların, asfalt betonu aşınma tabakası için öngörülen dizayn kriterlerinin çok üzerinde olduğu ve Torul Kalker Taşocağı agregalarının kendisinden beklenen performansı sağladığı saptanmıştır.

Tablo 23. Şartname dizayn kriterleri (11).

ÖZELLİKLER	HAFİF VE ORTA TRAFİKLİ YOLLAR				AĞIR TRAFİKLİ YOLLAR, OTOYOLLAR, TIRMANMA ŞERİTLERİ			
	BİNDER		AŞINMA		BİNDER		AŞINMA	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Vuruş Sayısı	50	-	50	-	75	-	75	-
Marshall Stabilitesi, Kg.	600	-	750	-	750	-	900	-
Boşluk, %	4	6	3	5	4	6	3	5
Asfaltla Dolu Boşluk, %	65	75	75	85	65	75	75	85
Akma, mm	2.5	4.6	2.5	4.6	2	4	2	4
Filler/Bitüm Oranı	-	-	-	-	-	1.4	-	1.5
Asfalt Çimentosu (Ağırlıkça, 100 e)	3.5	6.5	4.0	7.0	3.5	6.5	4.0	7.0

4. SONUÇLAR

Değişik iklim koşullarının yanında sürekli ve direkt olarak trafik yüklerinin etkisine maruz kalan bitümlü kaplamanın, istenilen şartları ve kendisinden beklenen özellikleri sağlaması gerekmektedir. Bu itibarla, iyi bir kaplamanın teşkili, dolayısıyla iyi bir sonuç alınabilmesi için kaplama karışımında kullanılan malzemelerin çok iyi tanınması, karışım oranlarının iyi ayarlanması ve ilgili prosedürün titizlikle uygulanması gerekmektedir.

Bu çalışmada, Torul Kalker Taşocağından elde edilen agrega malzemesinin, uygun bağlayıcı kullanarak karışım içerisindeki performansını belirlemek amacıyla pratikte yaygın olarak kullanılmakta olan Marshall metoduna göre karışım dizaynı hazırlanmış, elde edilen sonuçlar şartname kriterleri ile karşılaştırılmış ve gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen bu sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir :

a. Seçilen agrega malzemesinin, granülometrisi, fiziksel özellikleri ve bağlanma özelliğini belirlemek amacı ile kalite kontrol deneyleri uygulanmış ve elde edilen sonuçların, her türlü iklim koşullarında ve ağır trafikli yollarda asfalt betonu aşınma tabakasında ve diğer tabakalarda kullanılabilir nitelikte olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu taşocağında ihzarat yapıldıkça ocağın ilerleyen katmanlarında agreganın özelliklerinin değişip değişmediği ayrıca tespit edilmelidir.

b. İklim ve trafik koşulları dikkate alınarak seçilen asfalt çimentosunun, fiziksel özelliklerini belirlemek için uygulanan deneylerden elde edilen sonuçların şartname sınırları içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

c. Özellikleri belirlenen agrega ve asfalt çimentosu malzemelerinin, halen pratikte yaygın olarak kullanılmakta olan Marshall metoduna göre hazırlanan karışım dizaynının, yoğunluk, boşluk ve stabilite analizleri yapılarak elde edilen sonuçların, dizayn kriterlerinin çok üzerinde olduğu ve seçilen agreganın kendisinden beklenen performansı sağladığı tespit edilmiştir. Torul Kalker Taşocağından alınan agreganın bu çalışmada verilen uygun granülometride hazırlanması ve % 5.25 oranında 60-70 penetrasyonlu asfalt çimentosu ile sıcak karışım yapılması halinde elde edilen asfalt betonunun stabilitesi 1193 kg, hacim özgül ağırlığı 2.427 gr/cm^3 , asfaltla dolu boşluk yüzdesi % 78.5, boşluk yüzdesi % 3.7 ve akma miktarı 3.90 mm civarında olacaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Umar, F. ve Yayla, N. Yol İnşaatı, 2. Baskı, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1992.
2. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü, Ankara, 1995.
3. Süttaş, İ. ve Güven, Ö., Karayolu İnşaatında Uygulama ve Projelendirme, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 1986.
4. Yağız, F., Keçeciler, A.F., Işıksalan, C. ve Akkol, G., Bitümlü Malzemeler, İş Matbaacılık ve Ticaret, Ankara, 1967.
5. Keçeciler, A.F., Gümrükçüoğlu, A. Akkol, G. ve Gökçe, A.F., Bitümlü Malzemeler Laboratuvar El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1990.
6. Önalp, A., İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, Cilt 2, K.T.Ü. Yayın No. 3, Trabzon, 1983.
7. Açar, E. ve Umar, F., Yol Üstyapısı, 4. Baskı, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1991.
8. Kumbasar, V., Kumbasar, F. ve Önalp, A., Yol Mühendisleri İçin Zemin Mekaniği, İ.T.Ü. Matbaası, Gümüşsuyu, 1970.
9. Önal, M.A. ve Kahramangil, M., Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1993.
10. Yıldırım, B., Yol İnşaatı, Yayın No. 58, F.Ü. Mühendislik Matbaası, 1982.
11. Yollar Fenni Şartnamesi, Yayın No. 170/2 Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 1989.
12. Guirguis, H.R., Daoud, O.E.K. ve Hamdani, S.K., Asphalt Concrete Mixtures Made With Cement-Coated Aggregates, Transportation Research Record, 843, 1990, pp. 80-85.
13. Griffith, J.M. ve Kallas, B.F., Influence of Fine Aggregate on Asphaltic Concrete Paving Mixtures, Proc., HRB, 1958, pp. 219-255.
14. Ishai, I. ve Craus, J., Effect of the Filler on Aggregate-Bitumen Adhesion Propertios in Bituminous Mixtures, Proc., AAPT, pp. Vol. 42, 1973.

15. Yoder, E.J. ve Witczak, M.W., Principles of Pavement Design, Second Edition, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., New York, London, Sydney, Toronto, 1975.
16. Bituminous Materials in Road Construction, U.K. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, England, 1969.
17. Van der Heide, J.P.J., Materials and Mix Design, Proceedings of the 1992 Asphalt Paving Tecnology, 1992, Charleston, SC, USA, Asphalt Paving Tecnology, pp. 584-611.
18. Ritter, L.J. ve Paquette, R.J., Highway Engineering, Second Edition, The Ronald Press Company, New York, 1960.
19. TS 1081, Yol Üstyapılarında Kullanılan Asfalt Çimentoları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1972.
20. Hotaman, F., Esnek Yol Üstyapısının Projelendirilmesi ve Karadeniz Sahil Yolunda Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Trabzon, 1992.
21. TS 1083, Yol Üstyapılarında Kullanılan Sıvı Petrol Asfaltları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1972.
22. Terrel, R.L. ve Wang, C.K., Early Curing Behavior of Cement Modified Asphalt Emulsion Mixtures, Proc., AAPT, Vol. 40, 1971, pp. 108-125.
23. TS 1082, Yol Üstyapılarında Kullanılan Asfalt Emülsiyonları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1972.
24. TS 1084, Yol Üstyapılarında Kullanılan Katranlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1972.
25. Hopman, P.C., Valkering, C.P. ve Van der Heide, J.P.J., Mixes and Five Procedures. Search For A Performance-Related Mix Design Procedure, Proceedings of the 1992 Asphalt Paving Tecnology, 1992, Charleston, SC, USA, Asphalt Paving Tecnology, p 188-216.
26. Croney, D., The Design and Performance of Road Pavement, Her Majesty's Stationary Office, London, 1977.
27. Önal, M.A. ve Karaca, S., Asfalt Betonlu ve Diğer Sıcak Karışım Tipleri İçin Karışım Dizayn Metotları, (Çeviri), Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1990.
28. Uluçaylı, M., Bitümlü Karışımların Dizaynında Yeni Gelişmeler Yoğurmalı Press, Yollar Türk Milli Komitesi, Mayıs 1997, Ankara,
29. Cox, B.E., Products of Strategic Highway Research Program, Highways and Transportation, 40, 6, 1993, pp. 11-13.

30. Tayebali, A.A, Rowe, G.M. ve Sousa, J.B., Fatigue-Response of Asphalt-Agregate Mixtures, Proceedings of the 1992 Asphalt Paving Tecnology, Charleston, SC, USA, 1992, pp. 333-360.
31. Matthews, J.M. ve Monismith, C.L. Effect of Agregate Gradation on the Creep Response of Asphalt Mixtures and Pavement Rutting Estimates, ASTM Special Tecnical Publication n 1147, Philadelphia, PA, USA, 1992, pp. 329-343.
32. Uzuner, B.A., Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekanığı, 2. Baskı, Teknik Yayınevi, Ankara, 1992.
33. Demirel, Z., Aray, S., Kadioğlu, M. ve Orhan, F., Toprak ve Stabilizasyon Laboratuvarı El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü, Ankara, 1991.
34. TS 3720, Bitümlü Kaplama Karışımlarının Hesap Esasları - Marshall ve Hubbart-Field Metodları ile, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1983.



6.ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Bayburt'ta doğdu. İlk, Orta ve Lise tahsilini Bayburt'ta tamamladıktan sonra 1990 yılında, K.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. Öğrenimi sırasında onur ve yüksek onur alma başarısını da göstererek 1994 yılında mezun oldu. Aynı yıl mezun olduğu Bölümde yüksek lisans öğrenimine başladı. 1995 yılının şubat ayında Fen Bilimleri kadrosundan Araştırma Görevlisi olarak göreve başladıktan sonra aynı yılın Ekim ayında Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalında açılan Araştırma Görevliliği sınavını kazanarak Fakülte kadrosundan göreve atandı. Halen aynı görevi yapmakta ve yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.

