

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ASFALT EMÜLSİYONU İLE HAZIRLANAN  
SOĞUK KARIŞIMLARIN STABİLİTELERİNİN ARAŞTIRILMASI

İnş. Müh. Orhan KARPUZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"İnşaat Yüksek Mühendisi"  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

96799

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :15.06.2000  
Tezin Savunma Tarihi :20.07.2000

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet ÇAKIROĞLU

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Fazıl ÇELİK

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Zekâi ANGIN

Enstitü Başkanı : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

İC. YÜKSEK MÜHÜRLEME KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

TRABZON

## ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, asfalt emülsiyonu ile hazırlanan soğuk karışımların kireç katılması durumundaki stabiliteleri Marshall deney yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

Tez çalışmamda bana yardımcı olan yönetici hocam Doç. Dr. Mehmet ÇAKIROĞLU 'na ve Doç. Dr. Fazıl ÇELİK hocama teşekkür ederim. Ayrıca, Arş. Gör. Şeref ORUÇ'a, Ulaştırma Laboratuvarı ve TCK 10. Bölge Laboratuvarı görevlilerine ve TCK 10. Bölge atölye görevlisi Hamza EROĞLU'ya teşekkürü borç bilirim.

Haziran – 2000

Orhan KARPUZ



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY .....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VIII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Esnek Üstyapıda Kullanılan Malzemeler.....	2
1.2.1. Agregalar.....	2
1.2.1.1. Doğal Agrega Kaynakları .....	3
1.2.1.2. Suni Agrega Kaynakları.....	8
1.2.1.3. Bitümlü Kaplamalar Yönünden Agrega .....	9
1.2.1.4. Agrega Elde Edilmesi .....	11
1.2.2. Bitümlü Bağlayıcılar.....	11
1.2.2.1. Katranlar.....	12
1.2.2.1.1. Yol Katranları.....	12
1.2.2.1.2. Katran Emülsiyonları.....	13
1.2.2.2. Asfaltlar.....	13
1.2.2.2.1. Asfalt Çimentoları (AC) .....	15
1.2.2.2.2. Likit (Katbek) Asfaltlar.....	15
1.2.2.2.3. Asfalt Emülsiyonları.....	16
1.2.2.2.4. Doplar .....	19
1.2.3. Bitümlü Karışımlar .....	20
1.2.3.1. Bitümlü Karışımların Sınıflandırılması .....	20
1.2.3.2. Bitümlü Karışımlardan Beklenen Fizik ve Mekanik Özellikler.....	21
1.2.3.2.1. Stabilitate .....	22

1.2.3.2.2. Fleksibilite (Esneklik).....	22
1.2.3.2.3. Durabilite (Dayanıklılık).....	22
1.2.3.2.4. Kaymaya Karşı Direnç (Pürüzlülük) .....	23
1.2.3.2.5. İşlenebilirlik. ....	23
1.2.3.3. Bitümlü Karışımların Tasarımı.....	23
1.2.3.3.1. Kullanılacak Agregaların Kalitesi ve Granülometrisi .....	24
1.2.3.3.2. Uygun Bağlayıcı Seçimi .....	25
1.2.3.3.3. Kullanılacak Bağlayıcı Miktarının Seçimi.....	27
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	28
2.1. Agregalara Uygulanan Deneyler .....	28
2.1.1. Elek (Dane Boyutu) Deneyi .....	28
2.1.2. Aşınma (Los Angeles) Deneyi .....	30
2.1.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi.....	31
2.1.4. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi.....	32
2.1.5. Cilâlanma Deneyi .....	34
2.1.6. Soyulma Deneyi .....	35
2.2. Asfalt Emülsiyonlarına Uygulanan Deneyler .....	36
2.2.1. Saybolt Furol Viskozitesi Deneyi.....	37
2.2.2. Çökme Deneyi.....	37
2.2.3. Kesilme Deneyi .....	37
2.2.4. Örtme Kabiliyeti ve Suyu Direnç Deneyi .....	38
2.2.5. Partikül Yükü Deneyi .....	39
2.2.6. Elek Deneyi.....	39
2.2.7. Çimento İle Karıştırma Deneyi .....	39
2.2.8. pH Tayini .....	40
2.2.9. Buharlaştırma Kalıntısı Deneyi .....	40
2.2.10. Buharlaştırma Kalıntısı Üzerine Deneyler.....	40
2.2.10.1. Özgül Ağırlık Deneyi.....	40
2.2.10.2. Penetrasyon Deneyi .....	41
2.2.10.3. Düktilite Deneyi .....	42
2.2.10.4. Çözünürlük Deneyi.....	42
2.2.11. Kül Yüzdesi Tayini.....	43
2.3. Marshall Deneyi İle Soğuk Karışım Tasarımı.....	43

2.3.1.	Asfalt Emülsiyonunun Yaklaşık Miktarının Tespiti.....	47
2.3.2.	Karıştırmadaki Su İçeriğinin Tespiti (Kaplanma Sarılma Testi).....	47
2.3.3.	Sıkıştırılmadaki Optimum Su İçeriğinin Tespiti .....	49
2.3.4.	Karıştırmadaki Asfalt İçeriği Değişiminin Belirlenmesi .....	49
3.	BULGULAR.....	53
3.1.	Agregalara Uygulanan Deneylelerden Elde Edilen Bulgular .....	53
3.2.	Asfalt Emülsiyonuna Uygulanan Deneylelerden Elde Edilen Bulgular.....	56
3.3.	Marshall Deneyi İle Soğuk Karışım Tasarımından Elde Edilen Bulgular.....	57
4.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	68
5.	KAYNAKLAR.....	69
6.	ÖZGEÇMİŞ .....	71



## ÖZET

Dört bölüm olarak hazırlanan bu çalışmada, sıcak karışım asfalt betonlarına alternatif olabileceği düşünülen, asfalt emülsiyonuyla hazırlanmış soğuk karışımların kireç katılması durumundaki stabiliteleri araştırılmıştır.

Birinci bölümde, esnek üstyapılı yollarda kullanılan malzemeler hakkında teknik bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde, bu malzemelere uygulanan laboratuvar deneylerinin ve soğuk karışım tasarımının nasıl yapıldığı açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, Yollar Fenni Şartnamesinde asfalt betonu aşınma tabakası için en son verilen Tip-II 'nin ortalama gradasyonuna sahip genelde kalker kökenli agrega ile CSS-1 sınıfı katyonik asfalt emülsiyonu kullanılarak hazırlanan soğuk karışım briketleri üzerinde yapılan Marshall deney bulguları hem tablo, hem de şekiller halinde verilmiştir.

Dördüncü bölümde ise elde edilen deney bulgularından hareketle varılan sonuçlar ve öneriler açıklanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Agrega, Asfalt Emülsiyonu, Soğuk Karışım, Kohezyon

## **SUMMARY**

### **The stability of the cold mixture with Asphaltic Emulsions**

This study is carried out of 4 chapters, and the stability of the cold mixture with asphaltic emulsion and limestone is investigated as an alternative material.

In the first chapter, the technical information about the materials used in highway superstructure is given.

In the second chapter, how to make the laboratory experiments and cold mixture designs applied on this materials have defined.

In the third chapter, the Marshall experimental results carried on prepared cold mixture briquet using CSS-1 type class asphaltic emulsions and limestone based aggregate are given as figures and tables.

In the final chapter, the experimental results have evaluated and some conclusion have given.

**Keywords:** Aggregate, Asphaltic Emulsions, Cold Mixture, Cohesion

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Granülometri eğrisi.....	54
Şekil 2. Stabilite–asfalt yüzdesi ilişkisi .....	60
Şekil 3. Akma miktarı–sfalt yüzdesi ilişkisi .....	60
Şekil 4. Kuru yoğunluk–asfalt yüzdesi ilişkisi.....	61
Şekil 5. Agregalar arası boşluk yüzdesi–asfalt yüzdesi ilişkisi .....	61
Şekil 6. Hava boşluk yüzdesi–asfalt yüzdesi ilişkisi.....	62
Şekil 7. Asfaltla dolu boşluk yüzdesi–asfalt yüzdesi ilişkisi .....	62
Şekil 8. Absorbe nem yüzdesi –asfalt yüzdesi ilişkisi.....	63
Şekil 9. Stabilite–kireç yüzdesi ilişkisi.....	65
Şekil 10. Akma miktarı–kireç yüzdesi ilişkisi .....	65
Şekil 11. Kuru yoğunluk–kireç yüzdesi ilişkisi .....	66
Şekil 12. Hava boşluğu yüzdesi–kireç yüzdesi ilişkisi.....	66
Şekil 13. Asfaltla dolu boşluk yüzdesi–kireç yüzdesi ilişkisi.....	67
Şekil 14. Absorbe nem yüzdesi–kireç yüzdesi ilişkisi .....	67



## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Ayrık (daneli) tortul kayaçların sınıflandırılması.....	6
Tablo 2. ASTM standart elek serisi.....	29
Tablo 3. Aşınma deneyi numune sınıfları.....	30
Tablo 4. Sınıflara göre küre sayısı.....	30
Tablo 5. Donma-çözülme deneyinde alınacak numune miktarları.....	31
Tablo 6. Penetrasyonlara göre kabul edilecek farklar .....	42
Tablo 7. Marshall stabilite düzeltme katsayıları .....	44
Tablo 8. Agregada gradasyonu ve şartname limitleri .....	52
Tablo 9. Agreganın Aşınma Kaybı.....	52
Tablo 10. Agreganın Donma Kaybı.....	52
Tablo 11. Kaba Agregada Numunesini Oluşturacak Miktarlar .....	53
Tablo 12. Kaba Agreganın Özgül Ağırlıkları ve Su Emmesi.....	53
Tablo 13. İnce Agregada Numunesini Oluşturacak Miktarlar .....	53
Tablo 14. İnce Agreganın Özgül Ağırlıkları ve Su Emmesi.....	53
Tablo 15. Mineral Fillerin (Mermer Tozunun) Özgül Ağırlığı.....	55
Tablo 16. Agregada Doğal Nemi .....	55
Tablo 17. Buharlaştırma Kalıntısı .....	55
Tablo 18. Kalıntı Asfaltın Özgül Ağırlığı.....	55
Tablo 19. Kalıntı Asfaltın Penetrasyonu .....	55
Tablo 20. Kalıntı Asfaltın Düktilitesi.....	56
Tablo 21. Kalıntı Asfaltın Saf Bitüm Yüzdesi.....	56
Tablo 22. Her brikette dane çaplarına göre alınacak agregada miktarları .....	56
Tablo 23. Kaplanma Testi Sonuçları.....	57
Tablo 24. Sıkıştırma su içeriğinin belirlenmesi .....	57
Tablo 25. Soğuk Karışım Marshall Deney Bulguları ve Analizler.....	59
Tablo 26. Fillerde Kireç Katılma Oranları ve Miktarları .....	63
Tablo 27. Kireç Katkılı Soğuk Karışım Marshall Deney Bulguları ve Analizler.....	64

## SEMBOLLER DİZİNİ

%P	: Ağırlıkça geçen yüzde
D	: Eşdeğer agrega danesi çapı (mm)
pH	: Hidrojen iyonu konsantrasyonunun ters logaritmik değeri
%K	: Kaba agreganın ağırlıkça yüzdesi
%I	: İnce agreganın ağırlıkça yüzdesi
%F	: Mineral fillerin ağırlıkça yüzdesi
Gh	: Agregası karışımının hacim özgül ağırlığı
Ghk	: Kaba agreganın hacim özgül ağırlığı
Ghi	: İnce agreganın hacim özgül ağırlığı
Gdh	: Agregası karışımının doygun hacim özgül ağırlığı
Gdhk	: Kaba agreganın doygun hacim özgül ağırlığı
Gdhi	: İnce agreganın doygun hacim özgül ağırlığı
Gz	: Agregası karışımının zahiri özgül ağırlığı
Gzk	: Kaba agreganın zahiri özgül ağırlığı
Gzi	: İnce agreganın zahiri özgül ağırlığı
Gzf	: Mineral fillerin zahiri özgül ağırlığı
Gc	: Emülsiyon buharlaştırma kalıntısının (asfaltın) özgül ağırlığı
a	: Briketteki kuru agrega ağırlığı (g)
A	: Briketteki doğal agrega ağırlığı
c	: Kuru agrega ağırlığına göre bitüm yüzdesi
b	: Agregası doğal nemi (%)
d	: Emülsiyonun asfalt yüzdesi
e	: Emülsiyonun su yüzdesi (100 – d)
E	: Brikete katılacak emülsiyon miktarı (g)
Bh	: Briketin havadaki ağırlığı
Bs	: Briketin sudaki ağırlığı
Bd	: Briketin kuru yüzey doygun ağırlığı
BK	: Briketin tamamen kuru ağırlığı
Bn	: Briketteki nem yüzdesi

Gs	: Suyun özgül ağırlığı
f	: Karışımdaki optimum agrega nemi (Toplam su) (%)
g	: Sıkıştırmadaki toplam su yüzdesi
ösu	: Karışımın hazırlanmasında katılacak ek su miktarı
usu	: Sıkıştırma için uzaklaştırılacak su miktarı
G <sub>P</sub>	: Briketin pratik özgül ağırlığı
G <sub>T</sub>	: Briketin teorik özgül ağırlığı
V <sub>h</sub>	: Kuru briketteki hava boşluğu yüzdesi
VMA	: Briketteki agregalar arası boşluk yüzdesi
V <sub>c</sub>	: Briketteki bitümlle dolan boşluk yüzdesi
h	: Briketin ortalama yüksekliği
n	: Briket numarası
S	: Stabilite (kg)
S <sub>d</sub>	: Düzeltilmiş stabilite
A <sub>k</sub>	: Akma miktarı (mm)
dk	: Marshall stabilite düzeltme katsayısı
G <sub>k</sub>	: Briketin kuru hacim özgül ağırlığı

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Yollar, canlı cansız ürünlerin taşınması, insanların bir yerden başka bir yere gitme ihtiyacının karşılanmasıyla doğmuştur. İnsanlık tarihi boyunca üretim ve talebin ulaşımı, ulaşımın da üretimi karşılıklı olarak sürekli etkilemesi ekonomik ve sosyal gelişmenin temel unsurunu oluşturmuştur.

Hem kalkınmanın, hem de savunmanın sağlıklı ve güçlü olabilmesi için mevcut bütün ulaştırma sistemlerinin, birbirlerine olan üstünlüklerine ülkenin ekonomik, sosyal, fiziki yapısına ve dünyadaki konumuna uygun bir bütünlük içinde olması gerektiği tarihi tecrübelerden ve mevcut durumdan açıkça açıkça anlaşılmaktadır.

Bu bütünlük içinde en esnek ulaştırma sistemi olması sebebiyle karayollarının ayrı bir önemi vardır. Karayolu inşaatı iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada projeye uygun toprak işleri ve sanat yapıları sonucunda oluşan tabana "altyapı", ikinci aşamada bunun üzerine inşa edilen kısma da "üstyapı" denmektedir.

Günümüzde karayolu kaplaması, kırılıp ufalanarak mıcır haline getirilmiş kaya parçacıkları ve sağlam bir bağlayıcı malzemenin bir arada kullanılması ile inşa edilmektedir.

Kullanılan bağlayıcı madde çimento ise üstyapı "rijit", bitümlü (hidrokarbonlu) bir bağlayıcı ise üstyapı "esnek" kabul edilmektedir.

Bir esnek üstyapı genel olarak temel tabakası ve kaplama tabakasından oluşur. Kaplama tabakasının inşası, trafik ağır ise, sıcak karışım asfalt betonu ; trafik hafif ise sathi kaplama tekniğinde yapılmaktadır.(1)

Yüksek stabiliteli sıcak karışım asfalt betonların maliyeti yüksektir. Bağlayıcının, yeterince akışkan hale getirilebilmesi için 165 C<sup>0</sup> ye kadar ısıtılması, yine belli bir granülometrideki agreganın rutubetten arındırılarak yapışmasını temin için 175<sup>0</sup> C ye kadar ısıtılması, maliyeti yükselten en önemli faktördür. Ayrıca gelişmiş detaylı ekipman gerektirmesi, sadece sıcak ve yağışsız iyi havalarda çalışma imkanı vermesi ve sadece bazik agregalarla iyi bir yapışma sağlanabilmesi gibi dezavantajları vardır (2).

Asfalt emülsiyonu ile soğuk karışım yapılması durumunda karışım sıcaklığının 10 – 70<sup>0</sup>C olması yeterlidir. Ayrıca her tür sağlam agregayla çok iyi bir yapışma

sağlanmaktadır. Soğuk karışımların tek dezavantajı dayanım kazanma sürelerinin sıcak karışımlara göre daha fazla olmasıdır. Bunun da giderilmesi durumunda soğuk karışımların sıcak karışımlara her alanda alternatif olacağı açıktır (3).

Sağlam, dayanıklı, hizmet ömrü uzun bir üstyapı için hem güvenli, ekonomik ve pratik tekniklerin uygulanması hem de yapım aşamasında malzemelerin teknik özelliklerini iyi bilen elemanların görev almaları gerekmektedir. Böylece kaplama tabakası su, hava ve sıcaklık etkileri altında taşıtlardan gelen sürekli dinamik, uzun süreli statik ve hızlanan ya da yavaşlayan tekerlek yükleri altında oluşan basınç, çekme, makaslama ve sökölme etkilerine karşı koymaya çalışır.

## **1.2. Esnek Üstyapıda Kullanılan Malzemeler**

Esnek yol üstyapısında malzeme olarak agrega, bitümlü bağlayıcı ve bitümlü karışımlar kullanılır.

Sadece agrega tabakası; alttemel ya da temel tabakasında, sadece bitümlü bağlayıcı filmi; astar tabakası, yapıştırma tabakası, karartma tabakası gibi uygulamalarda kullanılır. Önce bitümlü bağlayıcı filmi sonra üzerine agrega serpilmesiyle sathi kaplamalar, önce agrega serilip sonra aralarına bitümlü bağlayıcı zerkedilmesiyle penetrasyon makadam tabakalar inşa edilmektedir.

Agrega ve bitümlü bağlayıcının karılmasıyla meydana gelen bitümlü karışımlar ile de beton asfalt kaplamalar, koruyucu harç tipi (sealy seal) tabakalar gibi uygulamalar yapılmaktadır (3).

### **1.2.1. Agregalar**

Agrega, yol inşaatının iki ana maddesinden biridir. Yol gövdesinin önemli bir kısmını teşkil eden agrega, bağlayıcı madde olmadan da kullanılan aktif olmayan katı mineral parçalar olarak tarif edilir (4).

Esnek yol üstyapı inşaatında kullanılan agregalar tabii-doğal kayaçların veya metalürji endüstrisinde açığa çıkan cüruf gibi ürünlerin bir kırma ve eleme sistemiyle çeşitli dane boyutlarında kırılıp ufalanmalarıyla elde edilirler. Doğal kayaçlardan elde edilenlere "doğal agrega", endüstriden elde edilenlere de "suni agrega" denmektedir. Bir agreganın mukavemeti, aşınmaya ve cilalanmaya karşı direnci agreganın elde edildiği kayacın ya da cürufun özellikleri ile tayin edilir.

### 1.2.1.1. Doğal Agrega Kaynakları

Bunlar tabiatta var olan kayaçlardır. Kayaç, çeşitli minerallerin ya da tek çeşit mineralin içlerine kayaç parçacıklarını alarak ya da almayarak oluşturdukları maddelerdir (5).

Mineral, doğada bulunan, belirli bir kimyasal bileşimi olan, belirli bir kristal sistemiyle ifade edilebilen, çoğunlukla katı, nadiren sıvı (cıva ve su gibi) genellikle inorganik, az olarak da organik (petrol, kömür gibi) bileşimli, silis camı ve opal gibi amorf olarak da bulunabilen sevimli oluşumlardır. Doğada mevcut yaklaşık 2000 tür mineral bilinmektedir. Bunlardan 25-35 tanesi kayaçların baskın yapısını oluşturmaktadır. Ayrıca mineraller, kimyasal bileşenleri açısından 12 ana gruba ayrılırlar. Bunlardan yer kabuğunun %99'unu oluşturan silikat grubu mineraller kayaçların yapısında oldukça fazla bulunurlar (6).

Kristal ise; belirgin bir geometrik şekli olan minerale denir. Katı, homojen ve anizotrop yani değişik yönlerde değişik oranlarda büyüyen, ısı ve ışık geçiren cisimlerdir. Değişik mineraller değişik ısılarda kristalleşirler. En tanınmış kristal kuvarstır. Kuvars,  $SiO_2$  bileşimli genelde renksiz, saf iken saydam, belirgin kristaller halinde, bazen de diğer renklerde ve şekillerde bulunurlar. Yağlı manzaralı ve dilinimsiz olmasıyla kolayca tanınır .

Doğal kayaçların ana kaynağı mağmadır. Mağma, yerkabuğu içerisinde ergimiş halde bulunan silikat hamurudur. Değişik bileşimde ve akıcıdır. Her zaman bir basınç altında bulunur. Mağmatik hareketlerle yeryüzünde ya da derinliklerde mağmanın soğumasıyla mağmatik kayaçlar oluşur ve yükselir. Bunların aşınmasıyla ayrıışan ürünler havza çukurlarında birikerek tortul kayaçları oluştururlar. Yerkabuğu hareketleri ile sıkışmalar, gömülmeler olur ve her defasında kayaçlar ortamdaki koşullara uygun bileşim ve görüntülere sokulur. Böylece başkalaşım kayaçları oluşur. Hatta her kayaç grubu tekrar mağmaya dönüşür. Tüm bu olaylar milyonlarca yıl ile ölçülebilen zaman zincirleri içinde tekrarlanmaktadır. Böylece kayaç grupları birbirine dönüşebilmektedirler. Ancak kayaçların yol yapım gayesi için uygunluklarını tayinde başlıca faktör olan fiziksel özellikleri, sadece kendi grupları içinde fark göstermekle kalmazlar. Ekseriya aynı ocağın muhtelif yerlerinden alınan numunelerde bile ehemmiyetli değişiklikler gösterirler. Bunun sebepleri çok çeşitli ve komplekstir. Mağmatik kayaçlarda kitlenin değişik taraflarında meydana gelebilecek farklı soğuma

hızları, kayaçların dane büyüklüğü ve dokudaki farklılıkları doğurur. Ayrıca kayaç henüz sıvı halde iken meydana gelen minerallerdeki ayrılma olayı da, kayaç bünyesindeki değişikliklere sebebiyet verebilir. Tortul kayaçlarda ise, değişikliğin en önemli nedeni birbirlerini takip eden tabakaların olmasıdır. Tortullaşma şartlarının değişmesi kil ve şeyl tabakalarının kalker veya kumtaşı ile yer değiştirmesine sebebiyet verebilir. Üst üste gelmiş tabakalar, değişik derecelerde konsolidasyon ve çimentolaşma gösterebilir. Kimyasal olaylarla bölgesel değişiklikler meydana gelebilir. Bir metamorfik kayacın dönüşüm miktarı, bilhassa termal metamorfizmada, kaynağa olan uzaklıkla değişir. Bu değişiklik mağmatik ve tortul kayaçlarda meydana gelmiş olan bütün değişikliklere ilâve bir etki yapacağından, metamorfik kayaçlarda görülecek değişiklikler, ekseriyetle diğer kayaç türlerinden fazla olur (5).

Dolayısıyla kayaç türlerini tanıırken bu hususun gözden kaçırılmaması gerekir. Dikkat edilecek diğer bir husus kayacın ana dokusuyla yüzey dokusunun birbirinden farklı olabileceğidir. Her ne kadar birbiriyle çok yakından ilgili iseler de kırılma şekli ve yüzey aşınması olayı yüzey dokusuna etkir (7).

#### **a) Mağmatik Kayaçlar:**

Mağmanın yeryüzünde çabucak, derinlerde ya da damar ve yarıklarda yavaşça soğumasıyla oluşurlar. İnceden iriye değişen büyüklükte kristallerden meydana gelirler. Hacim olarak yer kabuğunun %90 ından fazlasını teşkil ederler. Soğuma çatlakları dışında tabakalı ve yapraklanmalı yapı göstermezler. Silisyumdioksit ( $\text{SiO}_2$ ) miktarına göre asitik (%66 'dan fazla), orta (%55-66) ve bazik (%55'den az) diye sınıflandırılırlar. Asitlikten bazlığa geçtikçe renkler koyulaşır. Yoğunluk ta  $2.6 \text{ g/cm}^3$  'den  $2.9 \text{ g/cm}^3$  'e doğru artar ve serbest kuvars kristalleri görünmez olur (4).

Yüzey mağmatikleri camsı bir hamur veya çok ince (0.1 mm 'den küçük) kristal hamuru içinde daha iri kristaller şeklinde bir yapı gösterirler (obsidiyen, trakit, bazalt, andezit vb.). Bünyelerindeki gazların uçmasıyla delikli gibi görünebilirler. %80 gibi büyük çoğunluğunu bazik olan bazaltik kökenli kayaçların (bazalt, diyabaz, dolerit, silipit vs.) oluşturduğu anlaşılmıştır. Bunların sert ve yoğun olanlarının kırılmaya ve basınca karşı mukavemetleri, bozulmaya ve ayrışmaya uğramadıkları, tazeliklerini korudukları sürece derinlik kayaçları kadar yüksek ( $1500-2000 \text{ kg/cm}^2$ ) olabilmektedir.

Yarı derinlik (damar) kayaçları ince kristaller (0.1-1.3 mm) içinde iri veya çok iyi gelişmiş kristaller (1.5-2 cm) şeklindedirler. Büyük çoğunlukla iç içe girmiş dokuya sahiptirler. Bu sebeple en iyi yol taşlarından bazılarını kapsarlar. Genel isimleri porfir'dir (granit porfir, mikrogranit, kuvars porfir, vs.) (4).

Derinlik kayaçları, 1.3 mm 'den büyük iri kristaller şeklindedirler. Serttirler. Fakat gevrek olabilirler. Geneli asitik bazıları nötrdür (Granit, siyenit, gabro, diorit, proksenit, vs.). Bu nedenle fazla kaba dokulu olanlar yol inşaatı için elverişli değildir (4). En yaygını granittir. Türkiye granitlerinin basınca karşı dirençleri 1000-1500 kg/cm<sup>2</sup>, bazen 2500 kg/cm<sup>2</sup>, su emmeleri %0.2-0.7, özgül ağırlıkları 2.63-2.72 g/cm<sup>3</sup> civarındadır (7).

Orta büyüklükte kristalli dokuya sahip bir çok mağmatik kayaç, kristallerinin iç içe girmesi sebebiyle en iyi yol agregası olma özelliğine sahiptir.

Ancak bütün mağmatik kayaçlar atmosfer etkisiyle ve içten minerallerinin kimyasal değişimi ile ayrışmaya uğrarlar. Ocaktan alındığında sağlam halde bulunan bir kayacın yapımında kullanıldığı yolun ömrü boyunca bozulma ihtimali hemen hemen hiç yoktur. Fakat yarı ayrılmış kayaç gözle görerek anlaşılabilir ve zamanla vasıflarını kaybeder. Dolayısıyla şüpheli görülen tüm hallerde kayacın petrolojik analize tabi tutularak ayrışması olup olmadığı kontrol edilmelidir (4).

### **b) Tortul Kayaçlar**

Fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunmayla oluşan her çeşit kayaç ve organizma tortularının zamanla bağlayıcı doğal çimentolarla pekişmesi ve sıkışmasıyla oluşabilen kayaçlardır. Yerkabuğunun alan olarak %75 'ini hacim olarak %5' ini teşkil ederler. Tabakalar halinde olabildikleri gibi masif bir görünüş de gösterebilirler. Asit (genelde HCl) ile köpürebilirler. Koyu renkli mineral oranları azdır. Zamanla doğacak yapıların bilinmesi açısından tortul kayaçların yapı, doku ve bileşimlerinin mutlaka bilinmesi gerekir. Tortul kayaçların kırılmaya ve basınca karşı gösterdikleri direnç konsolidasyon dereceleri ve içlerindeki minerallerin suya hassasiyetlerine bağlıdır. Çeşitli sınıflandırmalar yapmak mümkündür. Oluşlarına neden olan faktörlere göre üç sınıfta incelenirler (5).

- Ayrık (Daneli) Tortul Kayaçlar: Dane büyüklüklerine göre sınıflandırılırlar. Sınıflandırma Amerika standartlarında 10 inch - 1/10 inch, Avrupa standartlarında 200 mm – 1/200 mm arasındaki değerlere göre yapılır.



Tablo 1. Ayrık daneli tortul kayaçların sınıflandırılması

Dane Boyutu (mm)	Ayrık Daneli Tortul Kayaç	Çimentolu Daneli Tortul Kayaç
- 200	Blok Kaya	Konglemera ve Breş
200 – 20	İri Çakıl	
20 – 2	Çakıl	
2 – 0.2	İri Kum	Kumtaşı
0.2 – 0.02	Kum	
0.02 – 0.002	Silt	Silttaşı
0.002 -	Kil	Kiltaşı

Çakıllar, suların taşıyarak depoladığı, düzgün yüzeyli, az çok yuvarlak şekilli, irili ufaklı, değişik ya da aynı tür ve sertlikte kayaç parçalarından oluşur. Genelde kum, silt ve kil ile karışık halde, nadiren temiz ve homojen olarak bulunurlar. Temiz ve sert olanları yol agregası olarak kullanılırlar.

Kumlar, kayaçların parçalanıp ayrışmasından sonra aşınma-birikme işlemine birçok defalar tabi olmuş dayanıklı kalıntılardır.

Aynı cins ya da değişik cins minerallerden oluşabildiklerinden hakim olan minerale göre isimler alırlar (kuvars kumu vb.). İri kumlar çoğunlukla yuvarlak danelidirler. İnce kumlardan çöl kumları yuvarlak, buzul kumları sivri köşeli, deniz ve nehir kumları köşeli ve az köşeli olurlar. Birçok kum ocakları silt ve kil gibi çok ince malzemeleri az ya da çok ihtiva ederler. Temiz olanları uygun ise yolda kullanılır.

Siltler çamurlu tortular olup, parmaklar arasında pürüzlü hissi verirler. Aşınmadan ziyade, kimyasal ayrışmayla oluşurlar.

Killer kimyasal ayrışmayla oluşan sulu alüminyum silikat bileşimli kil minerallerinden meydana gelir. Saflığı nispetinde sudan fazla etkilenirler ve şişerler.

Çimentolu daneli tortul kayaçlar, ayrık danelerin silis çimentosu, kalker ( $\text{CaCO}_3$ ) çimentosu, kil çimentosu, demiroksit çimentosu gibi doğal bağlayıcılarla kaynaşması sonucu oluşurlar. Çimento ve danelerin kararlılığı nispetinde sağlamdırlar.

Konglomera ve breşin farkı, ilkinin yuvarlak, diğerinin ise köşeli dane ve bloklardan oluşmuş olmasıdır.

Kumtaşlarının diğer ismi "Gre" dir. Çeşitli renklerde olabilirler. Yolda kullanılanların yoğunlukları  $2.60-2.75 \text{ g/cm}^3$  arasındadır. Karbonitler devrinden yaşlı iseler mağmatik kayaçlar kadar sağlam olabilirler. Çoğunlukla asitikdirler. Hem daneleri, hem de çimentosu silis olan kumtaşları çok sert ve dayanıklıdır. Bu durumda eğer daneler çimentodan ayırt edilemeyecek kadar küçük ve homojen ise kuvarsit adını

alırılar. Yoğunlukları  $2.55-2.65 \text{ g/cm}^3$  arasındadır. Açık renklidirler. Yol agregası olarak kullanılırlar. Ancak, çıkarılmaları ve işlenmeleri zordur. Kaya parçacıklı killi kumdan oluşana grovak, kuvarsit, feldspat vb. mineralli olanlara arkoz denir. Silttaşı ve kiltası, susuz iken bıçakla çizilemeyecek kadar serttirler. Ancak su ile temas edince şişer ve dağılırlar.

- Organik Tortul Kayaçlar: Organizma artıklarının derin su havzalarında birikmesiyle oluşurlar. Karbonatlılar (kalkerler) silisli (radyoaktif), karbonlular (kömürler) ve fosforlular (fostoritler) olarak gruplandırılırlar.
- Kimyasal Tortul Kayaçlar: Buharlaşmayla beraber konsantrasyon artması sonucu suların içinde erimiş halde bulunan kalsiyum karbonatlı, magnezyum bikarbonatlı, silisli, demirli, sodyum ve klorlu, borlu ve nitratlı maddelerin çökmesi ya da bu eriyiklerin başkalarının yerini almalarıyla oluşurlar. Karbonatlılar (kalker ve dolomitler, sarkıt ve dikitler, travertenler), silisli (çakmaktaşı) ve evaporitler (tuz, jips, anhidrat, nitrat, vs.) olarak gruplandırılırlar.

Bunlardan en çok kalker ve dolomitler yol taşı olarak yaygın bir şekilde kullanılırlar. Baziktirler. %90'dan fazla kalsiyum karbonat (kalsit mineralleri) içeren tortul taşlara kalker denmektedir. Kalkerler organik veya kimyasal kökenli olabilirler. Kireç hammaddesi olarak kullanıldıklarından kireçtaşı da denmektedir. Üzerlerine asit dökülünce köpürürler. Genellikle açık renklidirler. Çok ince daneli, balık yumurtası iriliğinde daneli hatta bezelye iriliğinde daneli yapı gösterebilirler. Sıkı ve sert olanları yol taşı olarak kullanılır. Yoğunlukları  $2.65-2.75 \text{ g/cm}^3$  arasında değişmekte olup sağlam mağmatik kayaçlardan yumuşaktırlar.

Kalkerlerin içinde bazen silis bileşimli çakmaktaşı yumruları (çört) ya da tabakaları çıkabilmektedir. Bunlar çok serttirler ve asitle köpürmezler. Gevrek olduklarından yol yapımında pek kullanılmazlar.

Dolomitler ise %90 'dan fazla magnezyum karbonat (dolomit minerali) içeren tortul kayaçlardır. Üzerlerine asit dökmeyle köpürmezler. Ancak sıcak asit içinde eriyebilirler. Genel karakterleri kalker gibidir. Fakat daha sağlamdırlar ve yol taşı olarak kullanılanların yoğunlukları  $2.70-2.80 \text{ g/cm}^3$  arasındadır.

### c) Metamorfik Kayaçlar

Mevcut her tür kayacın büyük ısınmalara veya büyük basınç ve ısınmalara maruz kalması sonucunda oluşan kayaçlardır. Hem mineralojik yapı ve formasyon, hem de kristal yapısı değişir. Fakat kimyasal bileşim değişmez. Dolayısıyla asitlik ve bazlık durumu da değişmez. Sonuçta ortaya ince yaprak yaprak ayrılmalı, levha levha ayrılmalı, akma-sıkışma görüntüleri gibi deformasyon belirtili yapılardan birini gösteren ya da hiçbirini göstermeyen masif yapılı, aynı yönde gelişmiş daha iri kristalli, daha sert bir kayaç topluluğu ortaya çıkar. Metamorfizma sonucunda; kalker ve dolomitler masif yapılı ve sert mermerlere; killer ve volkanik küller levha levha ayrılan fillet ve arduvaza; şistler, yaprak yaprak ayrılan şistlere silisli greler, çok sert ve sağlam olan masif yapılı metamorfik kuvarsite; killi sistler, killi kalkerler gibi karışık bileşimli tortul kayaçlar ve kompleks mağmatikler ise yoğun, sert ve sağlam olan hornfelse (boynuztaşı) dönüşürler. Granit grubu mağmatiklerden, bantlı yapı gösteren, düzensiz büyük aralıklarla tabakalı olarak bulunan, kaba dokulu gnays ve granülit meydana gelir ki bunlar silindir altında ezilmeye müsait olduklarından yol inşaatında pek kullanılmazlar. Metamorfikler içinde bazı hornfelsler en iyi yol taşlarından kabul edilirler. Fakat pek yaygın değildirler. Kuvarsitler de yol taşı olarak kullanılırlar (4).

#### 1.2.1.2. Suni Agregasyon Kaynakları

Yüksek fırınlardan elde edilen ürün ve artıklar içinde esnek üstyapıda kullanılmaya uygun malzemeler vardır.

a) Cüruf: Değişik metalurji endüstrilerindeki yüksek fırın artıklarının kontrollü olarak soğutulmasından elde edilirler. En yaygın olanı ve özellikleri daha iyi bilineni demir cevherinin işlenmesinden elde edilenidir. Az olan ve pek bilinmeyenler ise elektrik fırını cürufu, kalay cürufu, bakır cürufudur.

İçinde değişik kalsiyum ve magnezyum alümino-silikatları ile bazik mağmatik kayaçlarda bulunan mineraller vardır. Çabuk soğuma nedeniyle cürufların dışı amorf cam gibi olur. Soğuma şartlarına göre kristal veya camsı, sıkı veya petekli doku gösterebilirler. Soğutma işleminde kullanılacak metot, cürufun bileşimine ve yavaşça soğutulduğunda dağılmaya müsait olup olmamasına bağlıdır. Bazen kükürt ve demir kalıntıları ve kalsiyum ortosilikatın muhtemel mevcudiyeti nedeniyle kimyasal bakımdan dengesiz olurlar. Bu durumda normal sıcaklıklarda hacim değişikliği

gösterebilirler.

Dikkatle kontrol edilerek imal olunan cürufklar genellikle mükemmel bir agrega malzemesidir (8).

b) Klinker: Fırın küllerinin eriyerek topaklanmasından oluşan çok değişken bir malzemedir (1).

c) Kireç ve çimento: Sönmüş kireç ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ve portland çimentosu kullanılır. %1-2 oranında katıldıklarında ıslak ve soğuk agregalarla bitümlü bağlayıcıların yapışmasını temin ederler. Ayrıca kirecin, bitümlü bağlayıcının nemli agregayı kaplama (sarma) kabiliyetini artırdığı tespit edilmiştir (8).

### 1.2.1.3. Bitümlü Kaplamalar Yönünden Agrega

Bitümlü kaplamalarda kullanılacak agregalarda aranacak ilk ve olmazsa olmaz şart, bağlayıcıyla iyi bir yapışma (adezyon) sağlayıp sağlamayacağı ve bunun ne kadar devam edebileceğidir. Yol inşaatında kullanılan taşların çoğunda yüzeyler zayıf bir yükü yükledir. Bitümlü bağlayıcılar da az miktarda polar aktiviteye sahiptirler. Örneğin asitik bir taş yüzeyinin ıslatılma ısısı su için  $600 \text{ erg/cm}^2$ , benzen için  $150 \text{ erg/cm}^2$  dir. Asfalt için bu değer çok daha düşüktür. Islatma ısısının büyüklüğü yapışma kabiliyetini ifade eder. Dolayısıyla asitik taşlar suya daha düşkündür. Su severdirler (hidrofil). Ancak her cins taş farklı derecede bir hidrofil özellik gösterir. Suya az düşkün taşlar hidrofabdırlar. Su tesiriyle, yapışmış bağlayıcının agregadan soyulması her zaman mümkündür. Bağlayıcı eğer asfalt çimentosu, likit (katbek) asfalt veya anyonik asfalt emülsiyonu ise agreganın muhakkak bazik olması gerekir. Eğer bağlayıcı katyonik asfalt emülsiyonu ise asidik veya bazik her tür agrega kullanılabilir (8).

Adezyon için iyi olan agreganın bitümlü kaplamada kullanılabilmesi için, ezilmeye, aşınmaya, cilâlanmaya ve dış etkilere dayanıklı olması, şartnamede belirtilen dane boyutu dağılımına (gradasyon) uygun olması, dane şekillerinin mümkün olduğunca köşeli (kübik) olması, yüzey dokusunun bir miktar pürüzlü ve boşluklu (paröz) olması gerekir. Yassı veya uzun daneler sathi kaplamalarda bağlayıcı filmine gömülürler ve yol kayganlaşır. Karışım kaplamalar da ise dengesiz karışımlar ortaya çıkartırlar. Normalden fazla bağlayıcıya ihtiyaç gösterirler. Agrega danelerinin yüzey dokusu yapışma ve içsel sürtünme açısı bakımından önemlidir. Çok parlak yüzeylerin bitümlü kaynaşması zor olduğu gibi çok paröz olanlar da fazla bağlayıcı çekerler.

Gevrek agregalar zamanla daha küçük parçalara bölünürler. Sathi kaplamalarda

kayganlık oluşur. Belli bir gradasyonda dizayn edilmiş karışım kaplamalarda ise ek sıkışmalar nedeniyle çökmeler (oturmalar) görülecek, bağlayıcının yüzeye çıkmasıyla da yol sathı kayganlaşacaktır.

Cilâlanma katsayısı düşük agregalar orta ve ağır trafik etkisi altında kısa sürede pürüzlülüklerini kaybederek özellikle yağışlı havalarda kaygan hale gelirler.

İstenilmeyen durumlara düşmemek için hem agrega gruplarının kendi aralarında hem de belirli bir ocaktan gelen agraga partileri arasında standart deney sonuçlarından faydalanılarak karşılaştırmalar ve seçmeler yapılmalıdır.

Farklı boyutlardaki agrega grupları, karışım kaplamalara farklı nitelikler sağlar. Dolayısıyla bitümlü karışımlar yönünden agraga, kaba (iri) agraga, ince agraga ve mineral filler olmak üzere üç farklı gruba ayrılarak incelenir.

Kaba (İri) Agraga, 4.76 mm 'lik elek üstünde kalan agregadır. Karışım kaplamalarda taşıyıcı iskeleti oluştururlar. Kırılıp elenmiş kaya, çakıl, cüruf ile bunların karışımından ibarettirler. Temiz, pürüzlü, köşeli, sağlam ve dayanıklı danelerden oluşmalıdırlar. İçinde kil, gevşek daneler vb. gibi istenmeyen maddeler bulunmamalıdır.

İnce agraga ise, 4.76 mm 'lik elekten geçip, 0.075 mm 'lik elek üzerinde kalan agregalardır. Kırılıp elenmiş kaya, çakıl, cüruf ve elenmiş doğal temiz kumdan temin edilir. İnce agraga danelerinin temiz, sağlam ve özellikle köşeli (kübik) olması çok önemlidir. Çünkü karışım kaplamalarda kaba agreganın oluşturduğu iskeletin ara boşluklarını ince agraga ve bitüm harcının doldurması nedeniyle deformasyonlara ve tekerlek izi oluşmasına karşı ince agreganın sağlam ve oldukça köşeli olması şarttır. Yuvarlak ve yassı daneler kararsız olup yer değiştirmelere meyillidirler.

Mineral filler, genel anlamı ile ağırlıkça en az %70 'i 0.075 mm'lik elekten, tamamı ise 0.600 mm 'lik elekten geçen malzeme olarak tanımlanır.

Mineral filler, taş tozu, mermer tozu, portland çimentosu, sönmüş kireç gibi maddeler olmalı, bağlayıcıyla kimyasal reaksiyona girmemeli, kil, toprak, organik ve zararlı maddeler ihtiva etmemelidir. Kuru olmalı, topaklar halinde olmamalıdır.

Filler malzeme, karışımlarının sıkışmalarına yardım ederken aynı zamanda önceden belirlenmiş karışım bitüm yüzdesinde uygulamada oluşabilecek artışları da bloke ederek terleme ve kusmayı bir miktar engeller. Mineral filler çok küçük bir yüzde oluşturmasına rağmen karışımın özelliklerinin düzenlenmesinde önemli rol oynar (1).

#### 1.2.1.4. Agregada Elde Edilmesi

Üstün kalitede yol agregası isteniyorsa önce kırıcılara nakledilen malzemenin temiz ve üniform olması gerekir. Aksi durumda ayıklama yapılmalıdır. Sonra kademeli bir kırma işlemi yapılmalıdır. Kırma işlemleri için çeneli, dönücü, konik, darbeli, diskli gibi çeşitli kırıcılar kullanılır. Bütün bu kırıcılar gerektiği gibi kullanıldıkları takdirde istenilen kübik agregayı temin edebileceklerdir. Bunun için her kırma aşamasında giren ve çıkan çap oranları düşük olmalı, kötü şekilli parçalarla ince malzemeler ayıklanmalı, ikinci ve sonraki kırıcılara devamlı malzeme sevki yapılmalı, eleklerden red olunanlar kapalı devrelerle ufalayıcılara gönderilmelidir. Kırma kademelerini azaltmak için yüksek kırma oranı elde etmeye çalışmak yassı agregaların ortaya çıkmasına sebep olur. Bu araz bazen yanlış olarak kayaçların petrolojik özelliklerine atfedilir.

Agrega dane şekline her ne kadar taşın tabiatı ve konkasör tipi bir dereceye kadar tesir ederse de araştırmalar bu hususun başlıca kırma ameliyesinin son aşamasındaki redüksiyon (küçültme) oranı ile ilgili olduğunu göstermiştir. Bu oran en fazla 4:1 dir. Yani 3/4 inchlik kübik mıcır elde etmek için konkasöre en büyük oranda 3 inchlik malzeme girmelidir. Agregalar elek ebatlarına göre ayrı ayrı istiflenirler. Sonra istenilen oranlarda karıştırılabilirler (8).

#### 1.2.2. Bitümlü Bağlayıcılar

Yolların yapımı ve onarımlarında kullanılan plastik bağlayıcılar bugün yalnız bitümlü bağlayıcılardır. Bunlar agregada danelerini birbirine ve yol yüzeyine yapıştırma (adezyon), sağlamlaştırma (tutma, kohezyon) ve suya dirençli olma gibi temel özelliklerden dolayı karayolu kaplamalarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Bitümlü bağlayıcılar, karbonlu hidrojenle onun madensel olmayan bileşimleri (oksijen, sülfürler, nitratlar) ve az ya da çok tembel madenleri içine alan oldukça karışık yapılı ürünlerdir. Yüksek molekül ağırlıklı karışımlardan oluşmuşlardır. Bunların izomerlerinin çok sayıda olması dolayısıyla kimya bilimi bunları yalnız ayırmaya değil tanımaya bile imkan bulamaz. Esasen karbon, hidrojen, oksijen, kükürt ve azot gibi basit elemanlara ayırarak analiz etmek yerine eriticilerle analiz sayesinde daha kesin neticeler elde edilmektedir.

Bitümlü bağlayıcıların esasını bitüm oluşturur. ASTM 'e göre "Doğal veya projen orijinli hidrokarbonların veya bunların her ikisinin çoğunlukla metal olmayan bileşenleri

ile birlikte bir araya gelmesiyle oluşan gaz, sıvı, yarı katı ya da katı halde bulunan ve karbon sülfürde tamamen eriyen karışımlarına "bitüm" denilir (8).

Bitüm, viskoelastik bir malzemedir. Reolojik (yük etkime süresine göre farklı) davranış gösterir. Aynı zamanda da termoplastiktir. Isıtılınca akıcı hale gelmesi ve soğuyunca eski katı halini alması bağlayıcı olarak kullanılmasının bir diğer sebebidir. Yüksek sıcaklıkta düşük mukavemet, düşük sıcaklıklarda yüksek mukavemet gösterirler.

Bitümlü bağlayıcıları kökenlerine göre katranlar ve asfaltlar diye iki sınıfa ayırmak mümkündür. İdeal bağlayıcılar değildirler. Ancak dikkatle kullanıldıklarında tatminkâr neticeler veririler.

### 1.2.2.1. Katranlar

Maden kömürü, şist, linyit, turbo, bitki, vs. gibi hidrokarbonlu organik maddelerin kuru damıtma yoluyla ayrışmasından meydana gelen yapışkan ve akışkan elemanları kapsayan üründür. İçlerinde 10.000 'den fazla bileşik olduğu tahmin edilmektedir. Bunlardan ancak 300 tanesi tanınıp karakterize edilebilmiştir. Genelde aromatik bünyelidirler. Katranlar kaynakları ve üretme şekillerine göre farklılık arz ederler. Bunlardan yolların yapımı ve onarımında kullanılan sadece maden kömürü katranıdır. Odun katranları hava etkilerine dayanıklı değildirler. Şist ve linyit katranları da çok miktarda parafin içerdikleri için bağlayıcılık özellikleri yoktur (9).

#### 1.2.2.1.1. Yol Katranları

Maden kömüründen yol katranı elde edilmesinde üç aşama vardır.

Birinci aşamada, metalurjik kok ve havagazı üretimi sırasında ham katran elde edilir. Ham katran; içinde benzol, plastikler, ilaçlar, patlayıcı maddeler gibi çok değerli bileşenleri bulunduruşu üstelik pekmez kıvamında ince ve çok sulu oluşu nedeniyle yol yapımında bağlayıcı olarak kullanılmaz.

İkinci aşamada, ham katran ısıtılarak destile edilir, benzol ve yararlı maddeler ayrılır. Geriye artık olarak zift kalır. Bu zift kara veya koyu esmer, yolda kullanılamayacak kadar sert ve bazik bir maddedir.

Üçüncü aşamada, destilasyon sonucunda elde edilen bir kısım ağır yağların belli oranlarda katılmasıyla zift inceltilir (flüksaj). Böylece yol katranları elde edilmiş olur. Yoğunlukları 1.12-1.26 g/cm<sup>3</sup> arasında bir değerdir. Türk Standartlarına göre karbon sülfürde eriyen yüzde en az %75-88 arasında olmalıdır (1).

RT (Road Tar) simgesiyle gösterilen yol katranları Türk Standartlarında kıvamlarına göre RT-1, RT-2, ..., RT-11, RT-12, RTCB-5 ve RTCB-6 olmak üzere 14 sınıfa ayrılırlar. Yandaki sayılar büyüdükçe normal hava sıcaklığındaki kıvamları artar. Yol katranının performansı bilhassa ziftinin yumuşama noktası ile yakından alakalıdır. Halka ve bilye metoduna göre yumuşama noktası 65 °C'nin altında olan ziftler yumuşak, 73-82 °C arasında olanlar orta sert, 85 °C 'nin üzerinde olanlar sert olarak tanımlanır. Sert ziftli katranlar sathi kaplama ve temel tabakasında, yumuşak olanlar ise katranlı makadam aşınma tabakası vb. için uygundur (8).

Yol katranlarının yapışması asfalta göre daha fazladır ancak bazı dezavantajlara sahiptirler.

Katranın bünyesindeki yağlar asfaltta göre daha çok uçucu olduğundan katranlar daha erken yaşlanırlar. Esnekliğini kaybederek kırılğan hale gelirler. Bu durumu iyileştirmek için mümkün olduğu kadar ağır yağlar ya da en fazla %20 oranında asfalt katılır.

Katranın ısıya hassasiyeti asfalta göre daha fazladır. Düşük sıcaklıklarda daha kırılğan, yüksek sıcaklıklarda oldukça yumuşak bir hale gelirler (1).

#### **1.2.2.1.2. Katran Emülsiyonları**

Yol katranlarının yoğunlukları (1.12-1.26 g/cm<sup>3</sup>) suyunkinden çok farklı olduğundan doğru katran emülsiyonu (su içinde katran zerrecikleri) elde etmek ve kullanmak çok zordur. Bu nedenle yol inşaatında pek kullanılmazlar. Ancak ters katran emülsiyonları (katran içinde su zerrecikleri) süresiz depolanabilir yama karışımlarında (çift sarılma metoduyla) kullanılmaktadırlar (3).

#### **1.2.2.2. Asfaltlar**

ASTM 'ye göre asfalt, "renge siyahtan koyu kahverengiye kadar değişebilen normalde katı ya da yarı katı kıvamlı, ısıtıldığında yavaş yavaş yumuşayan, bileşimindeki esas madde bitüm olan, doğada bulunabilen, petrolü damıtma yoluyla da elde edilen veya değişik orjinli bitümlerin karışımından da oluşabilen bağlayıcı özelliği olan malzeme" olarak tanımlanır. Kömür katranlarına nazaran çok daha komplikedirler. Genelde alifatik bünyelidirler (8).

Kaynaklarına göre, doğal asfaltlar ve petrol (rafineri) asfaltları diye ikiye ayrılırlar. Doğal asfaltlar kaya asfaltı ve göl asfaltıdır. Kaya asfaltı, boşluklu kalkerin



nadiren de kumtaşının en fazla %10 miktarında asfaltı emmesinden oluşmuştur. Yeterli asfalta sahip kısımlar öğütülerek, mastik asfalt ve sıkıştırılmış kaya asfaltı kaplamada kullanılır. Göl halindeki asfalt ise eski bir krater gölü içinde oluşur. Yüzeyi sert olup içi yarı sıvıdır. Asfalt içine çok iyi dağılmış ince mineral maddeler şeklindedir. %80 'e kadar saf bitüm veren göl asfaltları vardır. En tanınmışı Trinidad adasındadır. Açık kazanlarda 160 °C ye kadar ısıtılarak ince elekten geçirilirler. %55 asfalt ihtiva ederler. Yolda kullanmak için serttirler. Uygun bir yumuşatıcı ile yumuşatılmalıdırlar. Yoğunlukları 1.00-1.42 g/cm<sup>3</sup> dür. Bilinen en eski doğal asfalt kaynağı Şeria nehri vadisi, Lut denizi ve civarındır. Dünyada ve Türkiye'de çok sayıda yerde doğal asfalt kaynakları mevcuttur.

Doğal asfaltların içinde yollarda kullanılacak çok az miktarda bitüm vardır. Petrolün damıtılmasından, cracking'den ve oksitlenmesinden elde edilen asfaltlarda çok daha fazla bitüm vardır.

Petrolü damıtılarak elde edilen asfaltlara çeşitli isimler verilmişse de en çok "rafineri asfaltı", "çökelek asfaltı" denilmektedir. Pratik amaçlarla içindeki asfalt miktarına göre petroleri üç kategoriye ayırmak mümkündür (9).

- Asfaltik Petroller : Önemli miktarda asfaltlı ürünleri içerirler ve sert parafin hemen hemen hiç yoktur.
- Yarı Asfaltik Petroller : Asfaltlı ürün miktarı azdır. İçindeki parafin miktarı az çok önemli olabilir.
- Asfaltik Olmayan Petroller : İçlerinde genel olarak sert parafin vardır.

Petrolden yol asfaltı elde edilmesi petrolün destilasyonu sırasında olur. Petrolün destilasyonu çok sayıda ürünün elde edildiği karmaşık bir işlemdir. Modern petrol rafinerilerinde, ham petrol önce atmosfer basıncı etkisinde 350 °C 'nin altında ısıtılarak gazolin, kerosin ve gazyağı gibi hafif maddeler alınır. Sonra düşürülmüş basınç altında 200 – 400 °C arasında ısıtmaya devam edilir. Bir kolona püskürtülen düşürülmüş basınçtaki uçucu maddeler buharlaşarak kolonu geçerler. Kolon dibinden verilen aşırı ısıtılmış buhar, uçucu maddelerle uçucu olmayan asfalt malzemesinin ayrılmasını sağlar. Asfalt aşağıdan alınır. Sıcaklık derecesi, basınç değeri ve su buharı miktarında biraz değişiklik yapılarak istenilen kıvamda asfalt elde edilebilir. Destilasyonun ilerleme durumuna göre bu asfalt, sıvı, yarı katı ve katı halde bulunabilir. Yarı katı ve katı asfalta "Asfalt Çimentosu" da denir ve AC (Asphalt Cement) ile gösterilir. Sıvı olana ise yol yağı ya da yavaş kür olan sıvı asfalt denir ve SC ile gösterilir.

Muhtelif menşeli asfaltların asiditeleri ehemmiyetli derecede farklı olup, bu husus asfaltın yoldaki performansı açısından önemlidir (8).

#### 1.2.2.2.1. Asfalt Çimentoları (AC)

Normalde yarı katı ve katı olan asfalt çimentoları 130 – 165 °C 'ye kadar ısıtılarak akışkan hale getirildikten sonra kullanılırlar. Yola tatbikinden sonra soğuyarak bağlayıcılık özelliğini tekrar kazanırlar. Yoğunlukları 0.99-1.04 g/cm<sup>3</sup> 'dür. Standart bir iğnenin 25 °C 'deki asfalta 5 sn içinde batma miktarının (mm) 10 katı olan penetrasyon derecelerine göre asfalt çimentoları 10 ile 300 arasında sayılarla ifade edilen kategorilere ayrılmıştır.

AC 10-20	AC 50-60	AC 100-150
AC 20-30	AC 60-70	AC 150-200
AC 30-40	AC 75-100	AC 200-300
AC 40-50		

AC 10-20 en sert, AC 200-300 en yumuşak AC 'dir. Kullanılacak kategori, trafik durumu, kaplama şekli ve özellikle iklim sıcaklıkları dikkate alınarak belirlenir. Mevcut iklimin uç sıcaklıklarında bağlayıcılık özelliğini kaybetmeyecek (kırılgan ya da viskoz) kategori seçilir.

AC 'lerin 165 °C 'den fazla ısıtılması esneklik (düktilite) kaybına ve asfaltın yaşlanma direncine olumsuz etki eden, çözücülerde çözünmeyen madde yüzdesinde artışa neden olur. Bu araz, daha fazla benzin elde etmek için kraking'e maruz bırakılmış asfaltlarda belirgindir. Kullanılacak asfaltın şartnamelerde belirtilen max %2.5 'den fazla çözünmeyen madde ihtiva etmemesi gerekir. Bu hususta dikkatli olunmalıdır. Isıtma sırasında AC 'nin havayla ve yalın ateşle teması olmamalıdır. Isıtma homojen bir şekilde yapılmalıdır (1).

Son yıllarda AC 'nin özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda modifiye bitüm denilen bitüm esaslı polimerlerle iyileştirilmiş bir tür bitüm alaşımları elde edilmiştir (10).

### 1.2.2.2.2. Likit (Katbek) Asfaltlar

Asfalt çimentolarını, ısıtarak akışkan hale getirmek yerine içinde eriyebilecekleri bir yağ ile karıştırarak normal şartlarda sıvı olabilen bir asfalt türü oluşturulmuştur. Karıştırma işlemi rafineride AC henüz sıcak iken yapılır. Böylece AC 'nin soğuk olarak ya da agrega yüzeyindeki nemi kurutmaya yetecek sıcaklığa kadar ısıtılarak kullanılması büyük kolaylık sağlamıştır

Yola tatbikinden sonra bu yağların uçmasıyla geriye asfalt çimentosu kalmaktadır. Bu olaya "kür olma" da denilmektedir. Katılan yağa bağlı olarak kür olma hızları da farklıdır.

Çabuk kür olan Katbekler RC ile gösterilirler. Benzin gibi çok uçucu bir çözücünün AC 80-120 ile karıştırılmasıyla elde edilirler.

Vasat kür olan Katbekler MC ile gösterilirler. Gazyağı gibi orta derecede uçucu olan çözücünün AC 120-250 ile karıştırılmasıyla elde edilirler.

Yavaş kür olan Katbekler SC ile gösterilirler. Kaynama noktası yüksek bir yağ ile değişik penetrasyonlardaki AC 'nin karıştırılmasıyla veya direkt rafineriden elde edilirler. Bazen yolyağı da denilmektedir.

Katbek sembollerinin yanına kinematik viskozite alt sınırını gösteren 30, 70, 250, 800, 3000 gibi bir sayı gelir. Bu sayı büyüdükçe normal hava sıcaklığındaki kıvam (katılık-ağdalık) artar .

Uçuculardan dolayı katbek asfaltların yangın tehlikesi, çevreyi kirletmesi gibi sakıncalı yönleri vardır. Ancak pratik olması sebebiyle başta astarlama işlemi olmak üzere kaplama tabakasının her aşamasında kullanılmaktadır (1).

### 1.2.2.2.3. Asfalt Emülsiyonları

Asfaltın normal şartlarda sıvı olan başka bir geçici halidir. Emülsiyon, normal fiziki şartlarda yüzey gerilimlerinin farklılığı nedeniyle normal şartlarda bir biri içinde dağılmayan iki sıvıdan birinin diğeri içinde mikron mertebesindeki zerrecikler şeklinde zorla dağıtılmış halidir. Su içinde yağ (doğru emülsiyon) ya da yağ içinde su (ters emülsiyon) tipinde olabilirler. Dağıtma işlemi için hem yüzey gerilimleri farkını azaltan hem de zerrelerin etrafını (-) veya (+) elektrostatik kuvvet alanıyla yükleyerek tekrar birleşmelerine engel olan kimyasal maddeler (emülgatör) ile karıştırma (dispersiyon) enerjisi (kolloidal değirmen) beraber uygulanır (3).

Asfalt emülsiyonu ise asfalt türü bağlayıcıların (AC, modifiye asfalt, katbek asfalt, katranlı asfalt) su içinde 1-10 mikron çapında zerrecikler halindeki doğru emülsiyonudur. %30 - %70 asfalt ihtiva edebilir (Bir asfalt yüzdesi değerinden sonra ters emülsiyona geçiş olur). Asfalt zerreleri (+) yüklü ise "Katyonik Asfalt Emülsiyonu", asfalt zerreleri (-) yüklü ise "Anyonik Asfalt Emülsiyonu" ismini alırlar. Ayrıca modifiye asfalt emülsiyonları da mevcuttur. Bunun için ya modifiye asfalt kullanılır ya da imalat sırasında kauçuk emülsiyonu (latex vb.) su fazına ilave edilir (10).

Asfalt emülsiyonu yapımında kullanılabilecek çok sayıda emülgatör madde olmasına rağmen halen teknik ve ekonomik nedenlerden ancak az bir kısmı kullanılmaktadır. Yol işlerinde kullanılabilen asfalt emülsiyonları %0.5-1.0 emülgatör ihtiva ederler (2). Katyonik emülsiyonlarda yağ amini üzerine mineral bir asidin etkimesiyle oluşan amonyum tuzu veya amin tuzu kullanılır. Anyonik emülsiyonlarda ise organik bir asidin sodyum veya potasyum alkali yağ asitleri sabunları kullanılır. Emülgatörlerin çoğu tek başlarına suda iyonize olmadıklarından, genellikle, katyonik emülgatörlere asit (HCl), anyonik emülgatörlere de baz ilavesi (NaOH, KOH) yapılır. Emülgatör iyonlarının bir kısmı hem yağ sever (yağ zinciri) hem de su sever (iyon) özelliğe sahiptirler. Bu iyonların yağ sever uçları asfalt zerrelere yönelerek kilitlenirler. Su sever uçlar ise zerre etrafında elektrostatik kuvvet alanı oluştururlar.

Asfalt emülsiyonu, imal edilmesinden kullanılacağı zamana kadar bozulmadan kalabilecek kadar stabil olmalıdır. Bu da özellikle sulun fazdaki iyonlarla asfalt zerreleri yüzeyindeki iyonlar arasında kuvvetli bir dengenin olmasına bağlıdır. Bunun için de anyonik asfalt emülsiyonlarında sulu fazın pH 'ı 8-14 arası olabileceği gibi opt 11-12 arasında, katyoniklerde sulu fazın pH 'ı 0-7 arası olabileceği gibi optimum 6-7 arasında bir değer olmalıdır (11). Ayrıca asfalt zerrelere dibe çökmesini ya da yüzeye çıkmasını (kaymaklanma – ters çökme) engelleyici dengenin de yeterli olması gerekir. Çünkü çökmeyle zerreler birbirlerine yakınlaşırlar ve yumaklaşmalar başlar. Eğer dengeler iyi değilse ve emülsiyon uzun süre hareketsiz ise yumaklar da kendi aralarında birleşirler. Böylece emülsiyon hali sona erer . Buna "Emülsiyonun Kesilmesi" denir.

Sıvı içinde bir danenin çökme hızı (v), Stok ifadesiyle;

$$v = \frac{2}{9} \cdot g \cdot \frac{(P_1 - P_2)}{\eta} r_2^2 \quad \dots [1.1]$$

dir. Burada;

$P_2$  : Sulu fazın yoğunluğu,

- $P_1$  : Danenin yoğunluğu,  
 $r_2$  : Danenin yarıçapı,  
 $\eta$  : Sulu fazın viskozitesidir.  
 $g$  : Yerçekimi ivmesidir.

Dolayısıyla asfalt türü bağlayıcının ve sulu fazın yoğunlukları birbirine ne kadar yakınsa, zerrelere ortalama çapı ne kadar küçükse ve sulu faz ne kadar viskoz ise çökme o kadar az olacaktır. İyi bir depolama stabilitesi için zerreler 1-5 mikron çapında olmalıdır. 5-10 mikron için stabilite iyi olmayabilir. 10 mikrondan sonra şüpheli olmaktadır (3).

Asfalt emülsiyonu kolloidal değirmen ihtiva eden sürekli (kontinü) ya da süreksiz (diskontinü) üretim yapabilen tesislerde imal edilmektedir. İmalattan önce agrega yüzeyinin iyon yapısına kullanım yerine ve hava şartlarına göre emülsiyon formüle edilebilir.

Kolloidal Değirmen, stator denilen sabit bir dış kasnak ile bunun içinde yarıçapta 0.2 - 0.6 mm aralıkla dönen rator denilen yivli ya da yivsiz yüzeyli bir iç elemandan oluşmuştur. Bir taraftan asfalt türü bağlayıcı ile bazı durumlarda incelticiden oluşan bağlayıcı fazı, diğer taraftan su, emülgatör, asit ya da baz ve çökme stabilitesini artırıcı stabilizan maddelerin oluşturduğu sulu faz pompalarla değirmene sevk edilir. Rator – stator aralığından geçen fazlar, karşıda zerre çapları dağılımı normal dağılıma uyması istenilen emülsiyona dönüşür. Çıkış sıcaklığı 85 – 95 °C olan emülsiyon soğutularak depolanır. Sıcak depolama, asfalt zerrelerine tuz geçişine imkan vererek viskozite artışlarına neden olduğundan sakıncalıdır.

Asfalt emülsiyonu yola serildiğinde ya da agregayla karıştırıldığında sulu fazın bir kısmı ıslattığı agrega yüzeyleri tarafından emilir, bir kısmı da buharlaşır. Sulu faz yüzdesinin azalmasıyla çökelen ve sonra yumaklaşan asfalt zerreleri ile ıslanarak iyonize olmuş agrega yüzeyleri arasında emülgatör iyonlarının su sever uçları vasıtasıyla suda çözünmeyen bir bileşik oluşur. Böylece yapışma (adezyon) olayı gerçekleşir. Emülgatör – agrega etkileşimi ve emülsiyonun pH 'ı adezyonda etkili faktörlerdir.

Kesilme olayında emülgatör yapısı ve miktarı emülsiyonun asfalt yüzdesi ve havanın sıcaklığı birinci derecede önemlidir.

Kesilme ile adezyon farklı kavramlar olup adezyon olayı kesilmeyi hızlandırır. Kesilme olayı bitip bünyede en son kalan suyun kaybolmasıyla da esas bağlayıcılık

(kohezyon) gerçekleşir. Bu aşamaya "kür olma" denir (11).

Yol uygulamalarındaki kesilme hızlarına göre asfalt emülsiyonları üçe ayrılmaktadır. Bunlar;

1. Çabuk Kesilenler : Anyonikler RS; Katyonikler CRS ile gösterilir.
2. Vasat Kesilenler : Anyonikler MS; Katyonikler CMS ile gösterilir.
3. Yavaş Kesilenler : Anyonikler SS; Katyonikler CSS ile gösterilir.

Ayrıca zemin stabilizasyonlarında kullanılan sürstabilize (geç kesilen) asfalt emülsiyonları da mevcuttur. Sembollerden sonra 1 veya 2 rakamı gelir. En viskoz 2 dir. Esas asfaltın penetrasyonu değişmeyip kategorisi 100-200 dür. Eğer rakamların yanına h harfi geliyorsa bu 40-90 penetrasyonlu asfalta işarettir.

Kullanılacak emülsiyonun kesilme hızı, uygulama türüne bağlı olarak agrega – emülsiyon etkileşimine yeterli zamanı verecek kadar olmalıdır. Genellikle çabuk kesilenler sathi kaplamalarda, yavaş kesilenler karışım kaplamalarda kullanılmaktadır.

Asfalt emülsiyonları kullanıldığında emülgatörlerin yapısından dolayı hem yapışma (adezyon) daha fazla olmakta hem de asitik ya da bazik her türlü agregayla fevkalâde bir yapışma sağlanabilmektedir. Anyonik emülsiyonlar kalker gibi bazik agregalarla iyi sonuç verirken, katyonik emülsiyonlar hem asitik hem de bazik fakat özellikle sileks, kuvarsit gibi asitik agregalarla kötü hava şartlarında dahi iyi sonuç vermektedir. Buna dayanarak katyonik emülsiyonlara asitik demek yanlış bir ifade olur. Hava şartlarının iyi ve agreganın kalker olması durumunda anyonik asfalt emülsiyonları, diğer tüm hallerde katyonik asfalt emülsiyonları tavsiye edilmektedir.

Yapılan bir araştırmada katbek asfaltlardan yarı yarıya daha ucuza imal edildikleri saptanmıştır. Ayrıca gelişmiş ve gelişmekte olan bir çok ülkede asfalt emülsiyonu kullanımlarının küçük ve orta çaplı işlerle sınırlı kalmadığı, birçok uygulama alanında oldukça büyük miktarlara ulaştığı görülmektedir (12).

#### **1.2.2.2.4. Doplar**

Verilen bir taş cinsi için hidrokarbonlu malzemelere katılarak adezyonu artıran maddelere "dop" adı verilir.

Katranların adezyonu iyi olduğundan dopa ihtiyacı yoktur.

İçine dop katılacak bağlayıcının viskozitesi, dop moleküllerinin dağılarak agrega yüzeyine ulaşabileceği kadar düşük olmalıdır. 100 – 150 °C 'ye kadar bu duruma gelemeyen bağlayıcılara dop katılmaz. Çünkü bu sıcaklıktan sonra dop bozulur.

Dolayısıyla 130 – 165 °C 'de sıvılaştan asfalt türü bağlayıcılara dop genellikle katılmaz (1).

Katbek asfaltlara katılabilir. Yağmurlu havada ya da agreganın asitik olması durumunda soyulmadan korkuluyorsa dop kullanmak faydalıdır.

Asfalt emülsiyonlarında ise emülgatör etkisiyle zaten doplanmış bir asfalt mevcut olduğundan dop kullanmak gereksizdir. Hatta katbek asfaltlarla asitik agregalar kullanılması durumunda agregaları daha önceden katyonik asfalt emülsiyonuyla hafifçe bulamak (prekote) da dop etkisi yapmaktadır (3).

### 1.2.3. Bitümlü Karışımlar

Akışkan hale getirilmiş asfalt türü bağlayıcı ile granülometrik agreganın belli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen bitümlü malzemedir. Elde edilen karışımın şartnameler çerçevesinde laboratuvarlarda tespit edilen fizik ve mekanik özellikleri sağlaması gerekir. Pahalı bir malzeme olmasına rağmen, yolda düzgünlük ve geçirimsizlik sağlaması, işletme giderlerinin azalması, taş fırlatma tehlikesinin olmaması, ağır trafiğe dayanıklı olması, daha uzun ömürlü olması gibi nedenlerle çok kullanılan kaplama malzemesi durumuna gelmiştir (1).

Bitümlü karışımla yapılan kaplama tabakaları, temel tabakasının ve proje trafiğinin durumuna göre 2 ilâ 10 cm kalınlığında yapılabilir. 5 cm 'den fazla kalınlıklar iki aşamada yapılır.

Karışım kaplamalar genelde iki tabaka halinde inşa edilirler. Nispeten daha az bağlayıcı içeren ve daha az sıkıştırılan alt tabakaya "binder", üst tabakaya da "aşınma" tabakası denilmektedir.

#### 1.2.3.1. Bitümlü Karışımların Sınıflandırılması

Bitümlü karışımlar önce kullanılan agreganın ısıtılıp ısıtılmamasına göre sıcak karışımlar ve soğuk karışımlar diye ikiye ayrılırlar. Daha sonra her sınıf, boşluk oranlarına göre gruplandırılır.

**a) Sıcak Karışımlar :** En yaygın kullanılan bitümlü karışımlardır. 125 – 165 °C 'ye kadar ısıtılarak sıvılaştırılmış asfalt çimentosu ile 125 – 175 °C arasında ısıtılan agreganın güçlü bir paletle karıştırılmasıyla oluşurlar. Agreganın ısıtılmasının sebebi hem nemden arındırmak hem de bağlayıcının ani soğumasıyla oluşabilecek adezyon azalmasını önlemektir. Karışım çevre sıcaklığına kadar soğuyunca oldukça sağlam ve

esnek bir kaplama elde edilmiş olur (1).

- **Yoğun Sıcak Karışımlar** : Boşluk oranları %8 'den az olanlara denir. "Asfalt Betonu" kaplamalar bu gruba girer.
- **Yarı Yoğun (Kesikli Gradasyonlu) Karışımlar** : Boşluk oranları % 8-12 arasındadır
- **Açık (Boşluklu) Karışımlar** : Boşluk oranları %12 'den fazladır.

b) **Soğuk Karışımlar** : Soğuk agrega ile katbek asfalt ya da asfalt emülsiyonu karışımına denir

Agreganın nemli olması durumunda katbek asfaltlar nemin kurumasına yetecek kadar ısıtılır. Emülsiyonda ise zaten agreganın nemli olması istenir. Havanın çok soğuk olması ve viskozitenin düşürülmesi durumları hariç, asfalt emülsiyonları genellikle ısıtılmadan karışıma ilave edilir. Soğuk karışımın içindeki su yada uçucu madde zamanla kaybolmalıdır. Bunun için de belli bir miktar boşluk içermeleri gerekir (3).

- **Yarı Yoğun Soğuk Karışımlar** : Boşluk oranları %12 'den azdır. Esası AC olan asfalt emülsiyonlu yarı yoğun soğuk karışımlar yoğun sıcak karışımlar kadar yüksek stabiliteli olabilirler. İlk dayanımları düşüktür. Trafik etkisiyle yoğrulurlar ve tekerlek izi oluşur. Ancak zamanla karışım stabil ve geçirimsiz hâle gelir. Tekerlek izleri de eğer oluklanmış trafik yoksa kaybolur.
- **Açık Soğuk Karışımlar** : Boşluk oranları %12 'den fazladır. Max 3/4 inch kalınlığında inşa edilen ince taneli soğuk asfaltlar en ağır trafiğe bile mukavemet edebilirler. Bilhassa yüzeyi bozuk kaplamalara başarıyla uygulanmaktadırlar. Fiyatları makuldür ve tekerlek altında deforme olmazlar. Bu teknikle en fazla 1-2 saat içinde yol trafiğe açılmaktadır.

Sıcak karışımlara nazaran daha ucuz ve üretimi basit olan asfalt emülsiyonlu soğuk karışımların kullanımları yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda giderek yaygınlaşmaktadır (12).

### 1.2.3.2. Bitümlü Karışımlardan Beklenen Fizik ve Mekanik Özellikler

Bitümlü karışımlarla yapılan kaplama tabakalarının proje ömrü boyunca istenilen hizmet seviyesinde kalabilmesi için bazı şartları sağlaması gerekir. Aksi halde yol çok kısa bir zamanda elden çıkar. Yapılan harcamalar ve emekler boşa gitmiş olur. Denge iyi kurulmalıdır. Çünkü modern bir karayolundan beklenen özellikler bazen birbirleriyle çelişebilmektedir.



### 1.2.3.2.1. Stabilite

Bitümlü karışımın en önemli özelliği stabilitedir. Stabilite su, hava, sıcaklık etkisi altında, taşıtlardan gelen sürekli dinamik yükler, uzun süreli statik yükler ile hızlanan veya yavaşlayan tekerlek yükleri altında oluşan basınç, çekme, makaslama ve sökölme etkilerine karşı kaplamanın gösterdiği dirençtir. Stabilite için önce agrega danelerinin kübik şekilli olması, yüzeylerinin yeterince pütürlü olması gradasyon durumuna uygun yeterli sertlikte olması gereklidir (1). Boşluksuz gradasyonlar boşluklulara nazaran daha yüksek stabilite verirler. En büyük dane boyutunun büyümesiyle de stabilite artar. Ancak boşluksuz karışımların yüksek sıcaklıklarda stabiliteleri azalır. Sonra bağlayıcının mevcut sıcaklık şartlarında karışımın kohezyonunu sağlayacak kıvamda ve miktarda olması gerekir. Bir gradasyon için bağlayıcı miktarına göre değişik stabiliteler ortaya çıkar. Esnekliği az olan çok yüksek stabilite gibi esnekliği çok fazla olan çok düşük stabilite de pek istenmez. Trafik yüklerini taşıyacak kadar bir stabiliteyle beraber fleksibilite (esneklik) ve durabilite (dayanıklılık) de sağlanmalıdır (3).

### 1.2.3.2.2. Fleksibilite (Esneklik)

Yol bünyesindeki çökmelere üstyapıda özellikle temel tabakasında oluşan deformasyonlara bitümlü karışım kaplamaların çatlama dan karşı koyabilme yeteneğidir. Fleksibilite yetersizliği bitümlü kaplamalarda çatlamalara neden olur. Bu çatlaklardan nüfuz eden su yola zarar verir. İnce agrega yüzdesi, bağlayıcının miktarı, bağlayıcının düşük sıcaklıklardaki kıvamı ve düktilitesi karışım kaplamanın kalınlığı, temel yüzeyine yapışması, kaplama altı tabakalarının esnekliği karışımın fleksibilitesini etkileyen başlıca faktörlerdir. Esnekliğin az olması durumunda beton yollar üzerine inşa edilen karışım kaplamalarda derzler üzerine gelen kısımlarda ya da beton tabliyelerin ek yerlerinde dağılmalar şeklinde bozulmalar görülür. Yine bağlayıcı sertleşmesine bağlı olarak esnekliğin azaldığı soğuk havalarda, özellikle boşluklu karışım kaplamalarda çatlama lar görülebilir (3,4).

### 1.2.3.2.3. Durabilite (Dayanıklılık)

Bir bitümlü kaplamanın dayanıklılığı trafik, su, hava ve sıcaklık değişikliklerinin etkilerine karşı gösterdiği dirençtir. Bunun devamı için bağlayıcı – agrega kohezyonunun ve bağlayıcının yaşlanmaya direncinin yüksek olması gerekir.

Oksitlenmenin ve kohezyonsuzluğun azaltılabilmesi için de karışımın hava ve su ile teması en aza indirilmelidir. Bu yönü ile yeterince sıkıştırılmış boşluksuz karışımlar en durabil kaplama malzemesidir. Boşluklu karışımların durabil olabilmesi için oksitlenmeye ve suya karşı yüksek dirençli bir bitümlü bağlayıcının (modifiye asfalt vb.) agrega danelerini daha kalın bir bağlayıcı filmi ile sarması ve bünyeye giren suyun içeride fazlaca kalmaması için tabanın geçirimli olması şart olmaktadır. Yeterli bir durabilite fileksibilitayı aynı yönde etkileyecektir (1).

#### **1.2.3.2.4. Kaymaya Karşı Direnç (Pürüzlülük)**

Vasıtaların güvenli bir şekilde durma ve hareket etmesinin sağlanması kaplama yüzeyinin kaymaya karşı olan direncine (pürüzlülüğüne) bağlıdır. Bu direncin az olması ya da zamanla azalması seyir güvenliğinin özellikle yağışlı havalarda tehlikeye girmesine neden olur. Agrega danelerinin şekli, aşınmaya ve cilâlanmaya dirençleri, karışımdaki boşluk oranının bağlayıcının genişmesine yetip yetmeyeceği, üretim ve serme sırasında karışımda segregasyon (aynı boyuttaki malzemenin bir araya gelmesi) olup olmadığı kayma direncini etkileyen faktörlerdir (1).

#### **1.2.3.2.5. İşlenebilirlik**

İşlenebilirlik, malzemeyi istenen üniformalulukta karıştırıp, segregasyona meydan vermeden kolayca yerleştirip, fazla zorlamadan ve kırmadan sıkıştırabilmek demektir. Kaplamada kullanılacak karışımın işlenebilirliğinin makul olması hem maliyete, hem teorinin yola aktarılmasına ve hem de verime direkt olarak etkir. Bu özellik, agrega granülometrisi, bağlayıcı oranı, en büyük dane boyutu, danelerin şekli ve yüzey dokusu ile yakından ilgilidir. Özellikle kum danelerinin şekli çok önemlidir. Köşeli daneler ve düşük bağlayıcı oranı işlenebilirliği oldukça azaltmaktadır. Yuvarlak şekilli daneler işlenebilirliği artırsa da stabilitesi olumsuz yönde etkiler (1).

#### **1.2.3.3. Bitümlü Karışımların Tasarımı**

Bitümlü karışımlar agrega ve bitümlü bağlayıcı bileşenlerinden oluşur. Bu bileşenler üzerinde oynanarak proje ömrü boyunca trafik ve iklim şartlarına uyacak fizik ve mekanik özelliklere sahip bir karışımın dizaynı yapılmalı, gerçek davranışı mümkün mertebe yansıtabilecek laboratuvar deneyleriyle de kontrol edilmelidir. Ancak birçok

tecrübeler oluşmasına rağmen bugüne kadar geliştirilen deney teknikleri yoldaki davranışları olduğu gibi yansıtamamakta bu da doğal durumu yapaya indirgemenin oldukça güç olmasından kaynaklanmaktadır.

Bitümlü karışımların dizaynında birbirinden önemli şu üç ilke esas alınır (14):

1. Kullanılacak agrega kalitesi ve granülometrisi,
2. Uygun bağlayıcı seçimi,
3. Kullanılacak bağlayıcı miktarının belirlenmesi.

#### 1.2.3.3.1. Kullanılacak Agrega Kalitesi ve Granülometrisi

Agrega önce, kullanılacak bağlayıcı ile adezyona girecek yapıda, dokuda ve durumda olmalıdır.

Agrega daneleri trafik yükleri altında ezilmeyecek, hava ve sıcaklık etkileriyle (donma ve çözülme olayı) ufalanıp parçalanmayacak kadar sağlam ve dayanıklı olmalıdır. Boşluklu karışımlarda, boşluksuzlara nazaran agreganın daha sağlam olması istenir. Yolda kullanılan taşların çoğu mukavemetlerinden bir şey kaybetmeksizin 250 °C 'a kadar ısıtılabilirler. 50 defa -15 °C 'de donmaya ve +15 °C 'de çözünmeye uğrayan agregalardan özellikle %1.5 su absorbe edenler etkilenmişlerdir (Çakmaktaşı, vs.).

Agrega danelerinin sert, sağlam olması, köşeli ve mümkün mertebe kübik şekilli olmaları, yassı danelerin fazla olmaması en başta stabilitenin sağlanması ve yüzeyin kayma direncinin yüksek olması açısından oldukça önemlidir. Kübiklik şartı,

$$\frac{U + G}{6} \leq K \quad \dots [1.2]$$

U : Agregada danelerinin en uzun ebadıdır. Paralel iki düzlem arasındaki en geniş kalınlık,

G : Agreganın danesinin içinden geçebileceği en küçük daire çapı,

K : Agregada danesinin paralel iki düzlem arasındaki en kısa kalınlığı,

ile ifade edilmekte olup karışım kaplama tiplerine göre agreganın %50 - %100 arası bir yüzdesinin bu şarta uyması istenir.

Agregada danelerinin tamamen kuru ağırlığın %0.75 - %1.0 'i arasında su emecek kadar gözenekli olması agrega – bağlayıcı adezyonu için gerekli ve yeterlidir. Daha fazla gözeneklilik gereksiz bağlayıcı sarfiyatına neden olur. Dolayısıyla mıcır haline getirilmiş yuvarlak şekilli ve pürüzsüz yüzeyli doğal agregaların kullanılması durumunda kırılmış yüzey sayısına ve yüzey pürüzlülüğüne dikkat etmek gerekir.

Bitümlü karışımın taşıyıcı iskeletini oluşturan agregada danelerinin ebatlarına göre derecelendirilmesi demek olan granülometri, karışımın fizik ve mekanik özellikleri üzerinde direkt etkilidir.

Granülometri bakımından agregalar boşluklu (açık) ve boşluksuz (kapalı) olmak üzere başlıca iki tipe ayrılmaktadır. Boşluklu (açık, süreksiz) gradasyona sahip agregalarda dane boyutları birbirine çok yakındır. Dolayısıyla boşluk oranları fazladır. Boşluksuz (yoğun, sürekli, kapalı) gradasyonlu agregalarda ise iri danelerin arasını daha ince daneler doldurduğundan boşluk oranları daha azdır.

Boşluk oranının fazla olması hava ve suya karşı geçirgenliği artırmakta ve bağlayıcı oksitlenmesinin (yaşlanmasının) hızlı olmasına neden olmaktadır. Bu da durabiliteyi, fleksibiliteyi etkiler. Ayrıca daha sağlam ve kübik agregada kullanımını ve daneleri saran daha kalın, daha kaliteli bağlayıcı filmi zorunlu kılar.

Bir bitümlü karışım ne kadar az işlenebilir ise o kadar zor sıkışmakta ve trafik altında da o nispete az oluklanmaktadır (1).

1980 'li yıllara gelinceye kadar bitümlü sıcak karışımlarda en uygun ve en yüksek stabiliteyi veren gradasyonun sürekli ve yoğun olduğuna inanılmıştır. Boşluk oranının düşük olması bağlayıcının oksitlenmesinin yavaşlamasını, fleksibilitesinin uzun süre devamını sağlamaktadır.

Ancak, daha sonra A.B.D. ve Fransa'da yapılan araştırmalar yoğun gradasyonların tekerlek izi oluşumu (oluklanma) ve kayma ile ilgili deformasyonlar açısından uygun olmadığını ortaya koymuştur. Bu doğrultuda 2 mm 'den ince agreganın oluklanmada rolü olduğu sonucuna varılarak %30 ile sınırlandırılmış ve segregasyona neden olduğu gerekçesiyle 0 – 20 'den vazgeçilip 0 – 10 veya 0 – 14 gradasyonlar tercih edilmiştir (10). İri agreganın ince agregadan ayrılması olayı olan segregasyon karışım dizaynını tamamen değiştirir, davranışları farklı yerel karışımlar ortaya çıkartır.

#### **1.2.3.3.2. Uygun Bağlayıcı Seçimi**

Önce bağlayıcı türü sonra kıvamı seçilmelidir. Çabucak soğuyarak erken dayanım kazanma özelliğine sahip asfalt çimentoları (AC) boşluklu, boşluksuz her tür sıcak karışımlarda, buharlaşarak yavaş dayanım kazanan katbek asfaltlar ve asfalt emülsiyonları ise çoğunlukla boşluklu karışımlarda kullanılır.

Seçilen bitümlü bağlayıcı kullanılacak agregayla iyi bir adezyona girmelidir. Bunu sağlamak için gerektiğinde bağlayıcıya dop ilave etmek ya da agregayı daha

önceden sulandırılmış az miktar katyonik emülsiyonla ön muameleye (prekote) tabi tutmak gerekir (3).

Bitümlü bağlayıcılar ısıya bağlı olarak gevrek, elastik, elastoplastik, viskoelastik ve viskoz gibi değişik hâllerde bulunurlar. Bağlayıcının kıvamına göre de ısı sınırları değişir. Dolayısıyla kullanım yerindeki iklimin en düşük sıcaklığında kırılğan hâle gelmeyen, en yüksek sıcaklığında viskozlaşmayan bağlayıcı kıvamı özenle belirlenmelidir. Bitümlü bağlayıcı zamanla yaşlanarak esneme kabiliyetini kaybettiğinden bu husus daha da bir önem kazanmaktadır. Bağlayıcının kıvamı karışım kaplamanın stabilite, durabilite, fleksibilite özelliklerine direkt olarak etkiyecektir (1).

Asfalt çimentosu esaslı emülsiyonlarla hazırlanan karışımlar ancak karışımın yapılmasını müteakip 1-2 saat gibi çok kısa bir müddet için işlenebilmekte ve stok edilebilmektedir. Birkaç hafta stoklanabilir karışım için ekseriya sıvılaştırılmış veya katran yağlarıyla seyreltilmiş asfalt esaslı emülsiyonlar kullanılmaktadır.

Esas bağlayıcı viskozitesi 25 °C 'de 500 saniye STV – 100 saniye STV olmalıdır. Kesilme hızı öyle olmalıdır ki, emülsiyon agregada içinde homojen bir şekilde dağılıp, karışım karıştırıcıdan çıktıktan sonra kesilme tamamlanmalıdır.

Çok yavaş kesilen bir emülsiyon akarak bazı kayıplara yol açar. Bu durumda karışım sonunda kesilmeyi hızlandırmak için ekseriya az miktarda (%1 'in altında) kireç ilave etmek en tesirli çözüm yoludur.

Halen günlük karışımlar için kullanılan emülsiyon tipinin, taş malzemelerinin birçoklarına karşı olan dikkate değer adezyonu sebebiyle katyonikler olduğunu belirtmek gerekir. Anyonik emülsiyonlar ancak bazı özel çift kaplama usullerinde faydalıdırlar.

Katyonik bir emülsiyonun pH' ını çok asidik karakterli malzemeler karşısında (kuvars, sileks, vb.) oldukça yüksek tutmak önemlidir. Zira bu durumda en iyi adezyon sağlanmaktadır. Bununla beraber çok yüksek pH 'lı bir emülsiyonun stok edilme kabiliyeti azalır. Çözüm olarak emülsiyonun bu vaziyette, pH 'ı biraz alçak tutup agregaya asit fazlalığını nötralize edecek az miktarda (%0.1-0.5) kireç ilave etmek tercih edilir.

Yarı kesif bünyeli soğuk karışımların sıkıştırma zamanı çok önemlidir. Eğer, serme ve sıkıştırma, karışım yapımından çok kısa bir zaman sonra yapılmışsa kesilmeden meydana gelen su zarları karışım danelerinin kaynaşmasına-yapışmasına mani olacaktır. Elde edilen sıkışma, karışım içindeki suyun buharlaşmasına mani olacak

kadar yüksek olacağından bu hal kohezyon yokluğu ve dolayısıyla stabilite azlığı ile kendini gösterecektir. Bunun için çok deneyimli ve dikkatli olmak gerekir.

Serme-sıkıştırma arasında yağmur yağarsa malzemeyi tekrar yol kenarına figüre etmek her zaman mümkündür (3).

### 1.2.3.3.3. Kullanılacak Bağlayıcı Miktarının Seçimi

Bağlayıcı miktarı, karışımın çok küçük bir yüzdesini oluşturmasına rağmen bitümlü karışımların tüm fizik ve mekanik özelliklerine etki eder. En uygun bağlayıcı miktarları, ince agrega danelerini ince bağlayıcı filmiyle, iri agrega danelerini kalın bağlayıcı filmiyle saracak ve boşlukların bir kısmını ( $\sim 2/3$  ünü) dolduracak kadar olmalıdır (1).

Bağlayıcı miktarı gerekenden fazla ise sıcakta genleşme ve trafik etkisiyle bağlayıcı yüzeye çıkacak, özellikle yağışlı havalarda kaygan bir yüzey oluşacaktır. Çok fazla ise karışım kararsız bir hal alarak aşırı deformasyonlara uğrayacaktır. Bağlayıcı fazlalığı lokal ise, terleme denilen bağlayıcının yer yer yüzeye çıkması olayı görülür ki bu da taşıtların yavaşlama güvenliği açısından tehlikelidir.

Bağlayıcı miktarı gerekenden az ise agrega daneleri arası bağlantı zayıf demektir. Trafik, su, hava etkileri altında agregalar kopmaya ve yüzeyde delikler oluşmaya başlayacaktır. Buna kaplamanın sökülmesi denir.

Görüldüğü gibi bir agrega gradasyonu için az miktarda bağlayıcının mahzurları olduğu gibi fazla miktarda bağlayıcının da mahzurları vardır. O halde kendisinden beklenen özelliklere göre bir karışım için en uygun bağlayıcı miktarı titizlikle tespit edilmelidir. Bu amaca ulaşmak için bir çok formüller geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Geliştirilen formüller belli şartlar dahilinde geçerli olabilmektedir. Bunun dışındaki koşullarda formüllerdeki bazı katsayıları değiştirmek gerekmektedir. Sonuçta güvenilirliği tartışılır yaklaşık bir değer elde edilmektedir. Buna mukabil geliştirilen deneysel metodlar daha güvenilirlerdir. En çok kullanılan stabilite deneyleri,

- Hubbard – Field deneyi,
- Hveem deneyi,
- Marshall deneyi 'dir.

Bugün ülkemizde bitümlü karışımlardaki bağlayıcı miktarını belirlemede Marshall deney metodu kullanılmaktadır. Bu metod "Marshall Deneyi İle Soğuk Karışım Tasarımı" başlığı altında incelenecektir.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bitümlü karışımdan beklenen fizik ve mekanik özelliklerin elde edilmesi için karışım bileşenleri, kalite kontrol deneylerine tabi tutulmuş ve belirtilen sınırlara uyanlar kullanılmıştır.

### 2.1. Agregalara Uygulanan Deneyler

Bitümlü karışım kaplamalarda trafikten akseden yüklerin esas taşıyıcısı agregadır. Dolayısıyla agreganın granülometrisinin, bitümlü bağlayıcıyla adezyonunun, soyulmaya direncinin, gözenekliliğinin, köşegenliğinin, sağlamlığının, donma ve çözülmeye dayanıklılığının, aşınmaya ve cilâlanmaya karşı mukavemetinin bir kıstasa göre belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu özellikleri belirlemek için genelde aşağıda verilen standart deneyler uygulanmıştır.

- Elek (dane boyutu) deneyi
- Aşınma (Los Angeles) deneyi
- Hava tesirlerine dayanıklılık (donma-çözünme) deneyi
- Özgül ağırlık ve su emme deneyi
- Cilâlanma deneyi
- Soyulma deneyi

Deneylerde kullanılan agrega, Maçka taşocaklarından çıkarılan kalker türü kayaların Bülbüloğlu kırmataş tesislerinde kırılmasıyla elde edilmiş olup Karayolları ve Köy Hizmetleri şantiyelerinden temin edilmiştir. Fillerin az olması nedeniyle agregaya elenmiş mermer tozu ilave edilmiştir.

#### 2.1.1. Elek (Dane Boyutu) Deneyi

Elek deneyi, agrega gradasyonunu yani belirli bir çap aralığındaki kuru agrega danelerinin tüm agrega yığını içindeki yüzdelerini tayin etmeye yarar. Bunun için delik çapları farklı kare gözlü elekler kullanılır. Elektteki bir gözün kenar uzunluğuna elek çapı denir ve dane çapına karşılık gelir. İri gözlü elekler inch ile adlandırılırken ince gözlü eleklerle numara verilir. Bu numara eleğin kenarındaki 1 inch (= 25.4 mm)'lik bir

uzunlukta mevcut göz sayısını ifade eder.

Ülkelere göre farklı elek standartları mevcuttur. Ülkemizde ASTM elek takımı kullanılmaktadır. Tablo 2 'de ölçüler verilmektedir (15).

Tablo 2. ASTM standart elek serisi

Elek	Net Açıklık (mm)	Elek	Net Açıklık (mm)
3"	75	No.4	4.75
2 ½"	63	No.5	4.0
2"	50	No.8	2.36
1 ½"	35.5	No.10	2.0
1 ¼"	31.5	No.12	1.7
1"	25	No.20	0.850
¾"	19	No.30	0.600
⅝"	16	No.40	0.425
½"	12.5	No.60	0.250
⅜"	9.5	No.80	0.180
⅓"	8	No.100	0.150
¼"	6.3	No.200	0.075

Agrega gradasyon eğrisini elde edebilmek için önce kaplama tipine göre şartnamelerde belirtilen elek serisi iri gözlüden ince gözlüye üstten alta doğru üst üste konulmuştur. Bitümlü karışım kaplamalarda elek deneyi için 2.5 – 5 kg ağırlığında bir agreganın numunesi yeterlidir. Daha fazlası hem elekleri zorlar, hem de sapmalara neden olur. Alınan numune etüve konularak kurutulmuştur. Kurutulan malzeme en üstteki eleğe dökülerek en az iki dakika sarsılmıştır. Sarsma işleminden sonra her elek üstünde kalan malzeme ağırlığı tartılarak belirlenmiştir. Bu değerleri kullanarak her bir elek için elekten geçen toplam ağırlık bulunmuştur. Geçen yüzde (%P) değerleri aşağıdaki bağlantıyla hesaplanmıştır:

$$\%P = \frac{\text{Elekten Geçen Toplam Miktar}}{\text{Deneye Tabi Tutulan Toplam Miktar}} \times 100 \quad \dots [2.1]$$

Yatay ekseninde elek çapları (mm) logaritmik ölçüyle işaretlenmiştir. Düşey eksene %P değerleri işaretlenmiştir. Çaplara karşılık gelen %P değerleri karşılaştırılarak bulunan noktalar birleştirilmiştir. Elde edilen eğri, agreganın dane büyüklüğü dağılımı (granülometri, gradasyon) eğrisidir (Şekil 1).



### 2.1.2. Aşınma (Los Angeles) Deneyi

Bu deney sürtme, düşürme ve çarpma yoluyla agreganın aşınma ve darbelere karşı dayanıklılığını ölçmeye yarar.

Aşınma deneyi Los Angeles deney aletiyle yapılır. Bu alet yatay eksen etrafında dönebilen içi boş her tarafı kapalı, kapaklı bir silindirdir. İçyüzünde 9 cm 'lik bir çıkıntı vardır.

Temiz ve 105 – 110 °C 'deki etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulmuş 5 kg agrega numunesi seçilen elek dizisinde elenmiş, kil ve tozlardan arındırmak için iyice yıkanmıştır. 110 °C 'deki etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulmuştur. Kurutulmuş agrega Tablo 3 'deki gruplardan birine göre hazırlanır. Hazırlanan malzeme Tablo 4 'deki kadar çelik top ile beraber deney aletine konulmuştur. Alete dakikada 30 devir hızla 500 devir yaptırılmıştır. Sonra numune aletten çıkarılarak 12 nolu elekten elenmiştir. 12 nolu elekte kalan malzeme yıkanmış, 110 °C 'deki etüvde kurutulmuş ve hassas olarak tartılmıştır (son ağırlık). Aşınma kaybı yüzdesi aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmıştır:

$$\text{Aşınma Yüzdesi (\%)} = \left[ \frac{\text{İlk ağırlık} - \text{Son ağırlık}}{\text{İlk ağırlık}} \right] * 100 \quad [2.2]$$

Aşınma yüzdesi, iyi taşlar için 20, orta taşlar için 50 civarında bir değerdir (1).  
Sonuçlar Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 3. Aşınma deneyi numune sınıfları

Geçtiği Elek (mm)	Kaldığı Elek (mm)	Deney Sınıfları ve Miktarları (g)			
		A	B	C	D
37,5 (3/2)"	25,0 (1)"	1250 ± 10			
25,0 (1)"	19,0 (3/4)"	1250 ± 10			
19,0 (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 (4.No)			2500 ± 10	
4,75 (4.No)	2,36 (8.No)				5000 ± 10
TOPLAM		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Tablo 4. Sınıflara göre küre sayısı

Numune Sınıfı	Küre Sayısı
A	12
B	11
C	8
D	6

### 2.1.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi

Agregaların donarak ufalanmaya ve parçalanmaya karşı olan dirençleri hakkında laboratuarlarda kısa sürede bir karar verebilmek amacıyla uygulanan hızlandırılmış bir deneydir.

1 litre suya 250 g sodyum sülfat ya da 350 g magnezyum sülfat tuzu konarak bir eriyik hazırlanmıştır.

Deneyde kullanılacak agrega 63.50; 37.5; 25.0; 19.0; 12.5; 4.75 ve 3 mm 'lik elek serisinde elenerek elekler üstünde kalan malzemeler yıkanmış ve 110 °C 'deki etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulmuştur. Tablo 5 'deki miktarlarda agrega alınarak tel sepet içinde üzerinde en az 2 cm eriyik olacak şekilde çözelti içine daldırılmıştır. Kap kapatılarak 21 °C 'de 16 – 18 saat bekletilmiştir. Agrega numunesi çözelti içinden çıkarılarak 15 dakika süzmeye bırakılmıştır. Sonra 110 °C 'deki etüvde kurutulmuştur. Etüvden çıkarılıp oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Bu daldırma – kurutma – soğutma işlemi 5 kez tekrar edilmiştir. Beşinci devre sonunda soğuyan numune çözelti temizleninceye kadar su ile yıkanmıştır. Yıkama suyuna baryum klorür katıldığında beyaz tortu oluşmayana kadar yıkamaya devam edilmiş ve yıkanan numuneler etüvde kurutulup sonra tartılmıştır. Deneyden önceki ağırlıkla olan aradaki farkın önceki ağırlığa oranı numunelerin yüzde olarak donma kayıplarını verir. Bu kayıp yüzdeleri elek analizleriyle belirlenen elek üstünde kalan oranlarla çarpılarak düzeltilmiş kayıp yüzdeleri bulunmuştur. Bu yüzdelerin toplamı tüm agrega yığınının donma kaybını verir. Sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 5. Donma – çözülme deneyinde alınacak numune miktarları

Elek Açıklığı (mm)	Alınacak Miktar (g)
4.75 – 2.00	100 ± 0.1
9.5 – 4.75	300 ± 5
19.0 – 9.5	1000 ± 10
Şöyle ki;	
19.0 – 12.5	670 ± 10
12.5 – 9.5	330 ± 5
37.5 – 19.0	1500 ± 50
Şöyle ki;	
37.5 – 25.0	1000 ± 50
25.0 – 19.0	500 ± 30

### 2.1.4. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi

Özgül ağırlık belirli hacimdeki numune ağırlığının aynı hacimdeki +4°C sıcaklığındaki suyun ağırlığına oranı olup birimsiz bir değerdir (1). Bitümlü karışım agregalarında hacim özgül ağırlık ve zahiri özgül ağırlık olmak üzere iki özgül ağırlık vardır. Ayrıca doymun hacim özgül ağırlık da belirlenebilir. Bu değerler karışımın teorik özgül ağırlığının ve asfaltla dolu boşluk yüzdesinin hesaplanmasında kullanılması bakımından önemlidir .

Özgül ağırlık deneyleri kaba agregaya, ince agregaya ve mineral filler agregaya için ayrı ayrı yapılmıştır. Tartular 0.001 g hassasiyetli terazilerde yapılmıştır. Sudaki daneler arasında hava boşluğu kalmaması için vakum, karıştırma, sallama gibi işlemler uygulanmıştır. Agreganın yapısındaki boşluğun azlığı nispetinde özgül ağırlık değerleri birbirine yaklaşır.

#### a) Kaba Agregaya:

Karışım agregasının 4.75 mm (4. No'lu) elekten geçmeyen kısmını temsil edebilecek 2 kg kadar malzeme alınmıştır. Yıkılarak 24 saat suda bekletilmiştir. Sudan çıkarılan doymun agregaların yüzeylerindeki fazla su kurularak malzeme tartılmıştır (B). Sonra bir tel sepete konularak 25 °C suyla dolu kovaya birkaç kez yavaşça daldırılıp sudaki ağırlığı belirlenmiştir (C). Sonra etüvde kurutularak kuru ağırlığı belirlenmiştir (A).

Kaba agreganın hacim özgül ağırlığı;

$$G_{hk} = \frac{A}{B - C} \quad \dots [2.3]$$

Kaba agreganın doymun özgül ağırlığı;

$$G_{dhk} = \frac{B}{B - C} \quad \dots [2.4]$$

Kaba agreganın zahiri özgül ağırlığı;

$$G_{zk} = \frac{A}{A - C} \quad \dots [2.5]$$

$$\text{Su Emme Yüzdesi} = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad \dots [2.6]$$

formülleriyle hesaplanarak Tablo 12'de verilmiştir.

### b) İnce Agregası:

Karışım agregasının 4. No'lu elekten geçip 200. No'lu elekten geçmeyen kısmını temsil edecek şekilde alınan 500 g kadar agrega (Tablo 13) yıkanarak 24 saat süreyle suda bekletilmiştir. Sudan çıkarılarak açık havada kohezyonu kaybedinceye kadar kurutulmuştur. D ağırlığındaki bir piknometre 25 °C 'deki damıtık su ile doldurulmuştur. 25 °C 'deki su banyosunda bekletilmiştir. Buradan çıkarılıp yüzeyi kurulandıktan sonra tartılmıştır (E). Boş ve kuru piknometreye kuru yüzeyli doymun malzeme konularak tartılmıştır (B). Bunun üzerine önceki seviyeye kadar su konulup tartılmıştır (C). Piknometredeki malzeme etüvde iyice kurutulmuş (A).

İnce agreganın hacim özgül ağırlığı;

$$G_{hi} = \frac{A}{(E - D) - (C - B)} \quad \dots [2.7]$$

İnce agreganın doymun hacim özgül ağırlığı;

$$G_{dhi} = \frac{B - D}{(E - D) - (C - B)} \quad \dots [2.8]$$

İnce agreganın zahiri özgül ağırlığı;

$$G_{zi} = \frac{A}{E - (C - A)} \quad \dots [2.9]$$

$$\text{Su Emme Yüzdesi} = \frac{(B - D) - A}{A} \quad \dots [2.10]$$

formülleriyle hesaplanarak Tablo 14' de verilmiştir.

### c) Mineral Fillerin :

Karışım agregasının 200 No'lu elekten geçen kısmını temsilen piknometrenin 1/3'ünü dolduracak kadar mineral filler alınarak ince agregada olduğu gibi işlemlere tabi tutulmuş, sadece zahiri özgül ağırlık belirlenmiştir (Tablo 15).

Tüm agreganın hacim özgül ağırlığı;

$$G_h = \frac{100}{\frac{\%K}{G_{hk}} + \frac{\%İ}{G_{hi}} + \frac{\%F}{G_{zf}}} \quad \dots [2.11]$$

formülüyle belirlenir. Burada;

%K: Kaba agrega yüzdesi

%İ : İnce agrega yüzdesi

%F : Mineral filler yüzdesi

Ghk: Kaba agreganın hacim özgül ağırlığı

Ghi: İnce agreganın hacim özgül ağırlığı

Gzf : Fillerin zahiri özgül ağırlığı

### 2.1.5. Cilâlanma Deneyi

Kaplama yüzeyindeki agrega danelerinin trafiğin aşındırma etkisiyle zamanla pürüzlülüklerini kaybetmeleri olayını (cilâlanma) laboratuara taşıyarak agregaların kısa bir zaman içinde cilâlanmaya dirençlerini ölçmeye yarayan bir deneydir.

Deneyde her numuneden 4 'er tane ve cilalanma değerleri bilinen kontrol numunelerinden de 4 'er tane olmak üzere 28 adet briket hazırlanır. Her briket için 9.5 mm elekten geçip 8 mm 'lik elekten geçmeyen agrega kısmından 35 – 50 agrega danesi seçilir. Daneler yassı, uzun, aşırı pürüzlü yada pürüzsüz olmamalıdır. Daneler briket kalıbına tek sıra halinde ve düz yüzeyleri alta gelecek şekilde dizilerek yapıştırıcıyla tespit edilirler.

Hazırlanan 28 briketten ilk önce ilk 14 'ü sonra da kalan 14 'ü deneye tabi tutulur.

Bu 14 numuneden;

1. numunenin ilk iki briketi 1 ve 2 olarak numaralandırılır.
2. numunenin ilk iki briketi 3 ve 4 olarak numaralandırılır.
3. numunenin ilk iki briketi 5 ve 6 olarak numaralandırılır.
4. numunenin ilk iki briketi 7 ve 8 olarak numaralandırılır.
5. numunenin ilk iki briketi 9 ve 10 olarak numaralandırılır.
6. numunenin ilk iki briketi 11 ve 12 olarak numaralandırılır.

Kontrol numunesinin ilk iki briketi 13 ve 14 olarak numaralandırılır.

Bu briketler 40.6 cm çapındaki deney aleti tablasına 13, 9, 3, 7, 5, 1, 11, 14, 10, 4, 8, 6, 2, 12 sırasına göre yerleştirilir. 6 saat süre ile 5 cm genişlikteki 3.6 kg/cm<sup>2</sup> iç basınçlı lastik tekerleğin aşındırıcı etkisi altında tutulurlar. Tekerlek dakikada 315 – 320 devir hızla ve briket yüzeyine 5 kg/cm<sup>2</sup> basınç yapacak şekilde döndürülür. Dönme sırasında sürekli zımpara tozu ve su ilave edilir. 6 saat sonunda briket hafifçe fırçalanarak iyice yıkanır. Sonra 20 °C 'lik su banyosunda briket yüzeyleri aşağı gelecek şekilde en fazla 2 saat bekletilir. Daha sonra briketleri banyodan çıkartıp hemen sürtünme aletinde deneye tabi tutmak gerekir.

Sarkaç tipindeki pandül ayak, numunenin 76 mm 'lik kısmına sürtünebilecek

şekilde ayarlanır. Ayağın lâstik takozu ve numune bolca ıslatılır. Pandül serbest bırakılır. Göstergedeki değer okunur. Bu işlem beş kez tekrarlanır. Son 3 okumanın ortalaması alınır. Briketler 13, 1, 10, 3, 5, 12, 8, 7, 11, 6, 4, 9, 2, 14 sırasına göre deneye tabi tutulur. Dört numunenin ortalama değeri en yakın tam sayıya yuvarlatılarak kaydedilir. Kontrol numunelerinin 13 ve 14 nolu briketleri ortalaması 0.1 hassaslıkla kaydedilir. Kontrol numunelerinin ortalama değeri 49.5 –55.5 arasında değilse ya da 4 numunenin değeri arasındaki fark 5 birimden fazlaysa deney sonuçları geçerli değildir. Cilâlanma aşağıdaki bağıntıyla hesap edilir.

$$\text{Cilâlanma Değeri} = S + 52.5 - T \quad \dots [2.12]$$

S : Dört numunenin ortalama değeri

T : Kontrol numunelerinin ortalama değeri

Bir agregâ için 6 saat süreyle laboratuvarda elde edilen cilâlanma değerinin çok ağır trafikli yollarda birkaç ayda, hafif trafikli yollarda birkaç yılda oluştuğu anlaşılmıştır.

#### 2.1.6. Soyulma Deneyi

Bitümlü bağlayıcı ile agregâ adezyonunun suya karşı direncini belirlemeye yarayan bir deneydir.

Karışım agregâsının 9.5 mm 'lik elekten geçip 4.75 mm 'lik elekten geçmeyen kısmından yaklaşık 200 g alınıp saf suyla iyice yıkanmış ve 110 °C 'deki etüvde kurutulmuştur. Kuru malzemedan 30 ± 0.5 g alınarak bir beher içinde 110 °C 'lik etüvde 1 saat bekletilmiştir. Diğer taraftan kullanılan bitümlü malzemedan 1.5 ± 0.1 g esas bağlayıcı olacak kadar alınarak 250 cm<sup>3</sup> 'lük beher içerisinde tartılmış ve 110 °C 'deki kum banyosunda ısıtılmıştır. Katbek asfalt ve asfalt emülsiyonları 60 °C gibi düşük sıcaklıklarda buharlaştırılır. Sonra 110 °C 'ye getirilir. Daha sonra etüvdeki agregâ alınarak kum banyosundaki bağlayıcıyla iyice karıştırılmıştır. Karışım 60 °C 'lik etüvde 24 saat tutulmuştur. Çıkarılıp kum banyosunda hafifçe ısıtılmıştır. 10 cm çaplı bir kaba aktarılmıştır. Agregâlara bir bagetle hafifçe vurularak yüzeyleri düzeltilmiştir. 10 dakika laboratuvar sıcaklığında bekletilmiştir. Sonra üzeri su ile doldurulup 60 °C 'deki etüvde üzeri bir kapakla örtülü olarak 24 saat bekletilmiştir. Sonra kap dışarı alınarak sarsmadan suyu değiştirilmiştir. Yandan gelip yansıyan ışık altında karışım yüzeyi gözle incelenmiştir. Soyulmuş yüzeyin tüm yüzeye oranı yaklaşık bir değerle belirtilmiştir.

## 2.2. Asfalt Emülsiyonlarına Uygulanan Deneyler

Esnek yol üstyapısının dayanıklılığı, agrega kalitesi ve granülometrisiyle olduğu gibi bitümlü bağlayıcının özellikleriyle de iç içedir. Şimdiye kadar edinilen bilgi ve deneyimler yolun ömründe görülen önemli yetersizliklerin yanlış bağlayıcı kullanımıyla yakından ilgili olduğunu göstermiştir.

Bitümlü malzemeler üzerine bir çok deney yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak burada fenni şartnamede asfalt emülsiyonları için belirtilen deney yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Bu deneylerden bazıları diğer bitümlü bağlayıcılara da uygulanabilmektedir.

- a) Viskozite deneyleri (25 °C, 50 °C)
- b) Çökelme deneyi
- c) Depolama stabilitesi deneyi
- d) Kesilme deneyi
- e) Örtme kabiliyeti ve suya karşı direnç deneyi
  - Kuru agrega ile
  - Yaş agrega ile
- f) Partikül yükü deneyi
- g) Elek deneyi
- h) Çimento ile karıştırma deneyi
- i) Buharlaştırma kalıntısı deneyi
- j) Buharlaştırma Kalıntısı Üzerine deneyler
  - Özgül ağırlık
  - Penetrasyon
  - Düktilite
  - Çözünürlük
- k) Kül yüzdesi tayini

Karışım deneyinde kullanılmak üzere Ankara'dan Gürsan Makine Kimya Sanayiinden CSS-1 sınıfı katyonik asfalt emülsiyonu temin edilmiş ve aşağıdaki deneyler uygulanmıştır.

### 2.2.1. Saybolt Furol Viskozitesi Deneyi

Bu deney 60 cm<sup>3</sup> sıvı asfaltın standart çaplı bir delikten belirli bir sıcaklıktaki akma süresinin saniye cinsinden değerini okumaya yarar. İşlenebilirlik açısından bu deney önemlidir.

Viskozite tayinleri hava akımları ve ani sıcaklık değişimleri olmayan bir odada yapılmalıdır. Önce numunenin içine konulacağı viskozimetre tüpü bir çözücü ile temizlenir. Numune önce 160 mikrometrelik elekten süzülür. Tüpün alt deliğine sızdırmayan kolay takılabilen bir mantar tapa takılır. Numune, galeri düzeyini biraz geçecek şekilde tüpe doldurulur.

Banyo sıcaklığında gerekli ayarlamalar yapıp, bir cam bagetle numune istenilen sıcaklığa getirilir. Bagette bir dakika karıştırıldığı halde numunenin sıcaklığı değişmiyorsa termometre ve baget tüpten çıkarılır. Bir pipet kullanılarak galerinin bir tek noktasından fazla madde alınır. Pipet ucu taşma kenarına değdirilmemelidir. Toplama kabı yerine yerleştirilir. Mantar tapa çekilir. İlk damlanın toplama kabına değmesinden kap işaretli yerine kadar numune ile doluncaya kadar geçen zaman kronometre yardımıyla saniye cinsinden ölçülür (13).

### 2.2.2. Çökme Deneyi

50 ± 5 mm çaplı ve 5 ml bölüntülü 500 ml 'lik iki cam mezurenin her birine 500 ml emülsiyon konulur. Ağızları kapatılarak laboratuvar sıcaklığında 5 gün hareketsiz bekletilir. Bu süre sonunda üst kısımlardan alt kısımların dengesini bozmadan bir pipetle 55 'er ml alınır. Her biri önce iyice karıştırılır. Sonra 50 g alınarak 600 ml 'lik cam behere konur ve buharlaştırma kalıntıları (%) bulunarak ortalamaları alınır (A).

Artakalan emülsiyonlardan yaklaşık 390 'ar ml daha şifonla çekilerek atılır. Cam mezurelerin diplerinde kalanları bir bagetle iyice karıştırıp her birinden 50 g alınarak 600 ml'lik cam beherlere konulur. Bunların da buharlaştırma kalıntıları (%) bulunarak ortalamaları alınır (B)

$$\text{Çökme (\%)} = B - A$$

...[2.13]

### 2.2.3. Kesilme Deneyi

Bu deney sadece, yüzeye serilerek kullanılan çabuk kesilen emülsiyonlara uygundur. Karışımlarda kullanılan yavaş kesilen emülsiyonlar için çimento ile karıştırma



deneyi kullanılır (3).

#### **2.2.4. Örtme Kabiliyeti ve Suya Karşı Direnç Deneyi**

Bu deney, emülsiyonun agrega daneleri üzerinde bir film halinde bulunurken karıştırma hareketine ve karıştırma bittikten sonra suyun yıkama etkisine dayanıklılığını test etmeye yarar.

Anyonik emülsiyonlarda; 16 mm 'lik elekten geçip 4 mm 'lik elekten geçemeyen yıkanmış ve kurutulmuş kalker türü agrega; katyonik emülsiyonlarda; 0.9 mm 'lik elekten geçip 0.62 mm 'lik elekten geçemeyen doğal yolla oluşmuş yuvarlak, silisyumdioksitten (kuvars) ibaret yuvarlak daneli bir kum kullanılır (13).

#### **Deneyin Kuru Agrega İle Yapılışı :**

Deney  $25 \pm 5$  °C 'de yapılır. Yaklaşık 3 lt hacimli emaye bir karıştırma kabı içerisine havada kurutulmuş kumdan 465 g konulur. Üzerine 35 g katyonik asfalt emülsiyonu ilave edilir ve 5 dakika süreyle spatula ile kuvvetlice karıştırılır. Spatula eliptik bir çizgide çalkalama hareketi oluşturmalıdır. 5 dakika sonra emülsiyonun agregayı sarmayan artığı kaptan akıtılarak atılır.

Karışımın yarısı kaptan alınarak bir süzgeç kağıdı üzerine yayılır. Asfaltın agregaları örtme derecesi gözle değerlendirilir.

Karıştırma kabındaki karışım üzerine, karışımı örtene kadar sabit basınçlı su püskürtme cihazı ile  $\text{CaCO}_3$  sertliği 250 ppm 'den az olan su püskürtülür. Sonra bu su yavaşça boşaltılır. Bu yıkama işlemine su berraklaşınca kadar devam edilir. Suyu süzülen karışım bir süzgeç kağıdının üzerine yayılır. Asfalt filmiyle örtülü kalabilen toplam agrega alanı gözle değerlendirilir.

#### **Deneyin Islak Agrega İle Yapılışı :**

Karıştırma kabındaki agrega üzerine homojen bir ıslanma sağlayacak şekilde su dökülerek iyice karıştırılır. Deneyin kalan kısmına kuru agregada olduğu gibi devam edilir.

Değerlendirmede, karışım yüzeyi keskin kanarları ve boşluklar dışında tamamen asfaltla örtülü ise "iyi"; örtülü kısım çıplak kısımdan büyük ise "orta"; çıplak kısım, örtülü kısımdan büyük ise "kötü" şeklinde not verilir.

### 2.2.5. Partikül Yüğü Deneyi

150 veya 250 ml 'lik bir cam behere 25 mm yükseklikte emülsiyon konulur. Temiz ve kuru paslanmaz çelikten 25 × 100 mm boyutlarında iki plaka elektrodta biri katod (negatif) kutbuna, diğeri ise bir miliampermetre ve değışken dirençle beraber Anod (pozitif) kutbuna bağlanır ve 12.5 mm aralıkla paralel olarak cam beher içindeki emülsiyona daldırılır. Akım değışken direnç ile en az 8 mA geçecek şekilde ayarlanır ve bir kronometre ile süre ölçülmeye başlanır. Akım 2 mA 'e düştüğü ya da 30 dakika süre dolduğunda akım kaynağı devreden çıkarılır. Elektrodlar yavaşça akar su altında yıkanır. Üzerinde asfalt tabakası oluşmuş elektrod anod (+) ise emülsiyonlar Anyonik (-), Katod (-) ise emülsiyonlar Katyonik (+) demektir (13).

### 2.2.6. Elek Deneyi

0.080 mm 'lik elek ve elek dibi tartılarak toplam ağırlıkları bulunur (A). Eleğın tel örgüsü katyonik emülsiyonlar için damıtık su, anyonik emülsiyonlar için %2 'lik sodyum oleat çözeltisi ile ıslatılır. Tartılarak uygun bir kap içerisine alınan 1000 g emülsiyon ıslanmış elekten süzülür. Numune kabı ve elek üzerindeki kalıntı su ya da çözelti berraklaşınca kadar yıkanır. Elek dibi eleğın altına yerleştirilir ve 105 °C 'deki etüvde 2 saat tutulur. Çıkarılıp tartılır (B). Asfalt emülsiyonu numunesinin elek üzerinde kalan yüzdesi şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Elek Üzerinde Kalan} = \frac{B - A}{1000} \times 100 \quad \dots [2.14]$$

### 2.2.7. Çimento İle Karıştırma Deneyi

Deney 25 °C 'de yapılır. Destilasyon kalıntısı veya 163 °C 'de 3 saatlik buharlaştırma ile tayin edilecek kalıntısı %55 oluncaya kadar emülsiyon damıtık suyla seyreltilir. Anyonik emülsiyonlar için PÇ 400 veya PÇ 500, katyonik emülsiyonlar için silis fillerinin 0.180 mm 'lik elekten geçen kısmından 50 ± 0.1 g alınarak 500 ml 'lik demir kaba konur. Üzerine seyreltilmiş emülsiyondan 100 ml katılır ve tartılır (A). Hemen bir çelik bagetle dakikada 60 devirlik dairesel bir hareketle karıştırılmaya başlanır. 1 dakika sonra 150 ml damıtık su ilave edilerek karıştırma 3 dakika daha sürdürülür. Karıştırma kabı içerisindeki tüm malzeme darası D g olan 1.4 mm 'lik elekten süzülür. Elek, 15 cm yüksekten dökülen damıtık suyla artık su berraklaşınca

kadar yıkanır. Yıkanan elek, darası B g olan yayvan bir kabın içine konularak 163 °C 'lik etüvde iyice kurutulur. Soğutulur ve tümüyle tartılır (C).

Kesilen asfalt emülsiyonu yüzdesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{Kesilen Yüzde} = \frac{C - (D + B)}{A} \times 100 \quad \dots[2.15]$$

### 2.2.8. pH Tayini

Deney 20 – 30 °C 'de yapılır. Emülsiyon katyonik ise elektrodlar alkil propilendiamin çözeltisine daldırılır. Destile su ile çalkalandıktan sonra elektrodlar 100 ml 'lik beherler içindeki tampon çözeltilerden birinin (pH<sup>1</sup>) içine daldırılarak ayarlanır. Çıkarılan elektrotlar destile su ile yıkanır. Diğer 100 ml 'lik beher içine test edilecek 50 ml numune aktarılır. Elektrodlar bu beher içine daldırılıp numune yavaşça karıştırılıp bir kaç saniye sonra pH okunur (pH<sup>2</sup>). Elektrodlar yine destile suyla yıkanır. Elektrodlar önceden kullanılan tampon çözeltilere daldırılarak ayarlanır (pH<sup>3</sup>). pH<sup>2</sup> sonucu ondalık olarak verilir. Sonuçta pH<sup>1</sup>-pH<sup>3</sup> =0.2 değerinde ise deney geçerlidir (13).

### 2.2.9. Buharlaştırma Kalıntısı Deneyi

600 ml 'lik kısa boylu dört adet cam beher alınmış, her biri içine birer adet baget konularak tartılmıştır (A). İyice karıştırılmış asfalt emülsiyonundan 50 ± 0.1 g 'lık numuneler alınarak beherlere konulmuştur. Beherlerle beraber bu numuneler 163 ± 3 °C 'deki etüvde 2 saat tutulmuştur. Dışarıya çıkartıp, bagetlerle iyice karıştırıp tekrar etüvde koyarak 1 saat bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan beherlerden her biri bagetlerle beraber oda sıcaklığına kadar soğutulup tartılmıştır ( B ). Her bir kalıntı yüzdesi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Tablo 17).

$$\text{Kalıntı Yüzdesi} = 2.(B - A) \quad \dots[2.16]$$

### 2.2.10. Buharlaştırma Kalıntısı Üzerine Deneyler

Kalıntılar üzerine deney yapmak için kalıntılar 163 ± 3 °C deki etüvde 15- 30 dakika bekletilip 0.280 mm 'lik elekten elendikten sonra deney kaplarına aktarılmıştır.

#### 2.2.10.1. Özgül Ağırlık Deneyi

Yüksek viskoziteli sıvı yada yarı – katı bitümlü maddeler ve asfalt emülsiyonları

için piknometre yöntemi kullanılır.

Kullanılan piknometrenin alt yüzü iç bükey ve 1-2 mm çapında kılcal borusu olan bir kapağı mevcuttur. Temiz ve kuru piknometre kapağıyla tartılmıştır (D). Sonra saf su ile doldurulup kapağı sıkıca kapatılmıştır. 25 °C 'deki su banyosunda en az 40 dakika bekletilmiştir. Çıkarılıp dış yüzey kurutulduktan sonra tartılmıştır (E). Buharlaşma kalıntısı deneyinden elde edilen elenmiş kalıntılardan birisi alınmıştır. Hafifçe ıslatılmış piknometreye yaklaşık yarısına kadar bu kalıntı asfalttan konulmuştur. Oda sıcaklığına kadar soğutulup kapağıyla beraber tartılmıştır (A). İçinde asfalt olan piknometrenin kalan kısmı da damıtık suyla doldurulmuş ve kapağı sıkıca kapatılarak 25 °C 'lik su banyosunda en az 40 dakika bekletilmiştir. Çıkarılıp dış yüzeyi kurularak hemen tartılmıştır (B). Numunenin özgül ağırlığı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır (Tablo 18):

Özgül Ağırlık;

$$G_c = \frac{A - B}{(E - D) - (B - A)} \quad \dots [2.17]$$

### 2.2.10.2 Penetrasyon Deneyi

Oda sıcaklığında yarı katı halde bulunan hidrokarbonlu bağlayıcıların kıvamlarını belirlemeye yarayan bir deneydir.

Buharlaşırma kalıntısı deneyinden elde edilen elenmiş kalıntı numunesi akıcı haldeyken deney aleti numune kabına dökülmüştür. Varsa hava keseciklerini çıkarmak için karıştırılmıştır. Kabın ağzı kapatılarak 20 - 30 °C 'de 1 - 1.5 saat bekletilerek soğutulmuştur. Silindirik bir taşıma kabıyla beraber 25 °C 'deki su banyosunda 1 - 1.5 saat bekletilmiştir. Banyodan çıkarılıp taşıma kabıyla beraber deney aletine yerleştirilmiştir. Gösterge sıfırlanmıştır. 100 g ağırlık etkisinde 40 - 43 cm uzunluğunda standart bir iğne numune yüzeyine sıfırlanarak sabitlenmiş ve sonra serbest bırakılmıştır. 5 sn sonra göstergedeki batma değeri okunmuştur. 0.1 mm 'lik batma 1 penetrasyon demektir. Kabın birbirinden en az 1 cm uzaklıktaki 3 noktasında da bu deney yapılmıştır. Her deneyden sonra iğne temizlenmiş veya değiştirilmiştir. Deneyin sonucu 3 değerlerin ortalamasıdır. Ancak sonuçlar arası farklar aşağıdaki değerleri aşarsa ikinci bir homojen numune ile deney tekrarlanır (Tablo 19).

Tablo 6. Penetrasyonlara göre kabul edilecek farklar

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

### 2.2.10.3. Düktilite Deneyi

Düktilite, yavaş etkiyen yükler altında bağlayıcının esneme kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Buharlaştırma kalıntısı deneyinden elde edilen elenmiş akıcı haldeki kalıntı numunesi iç yüzeyi ve pirinç levhası vazelinle yağlanmış deney kalıbına dökülmüştür. Önce 30 – 40 dakika oda sıcaklığında sonra 30 dakika 25 °C 'lik su banyosunda bekletilmiştir. Banyodan çıkartılıp kalıptan taşan kısımlar uzaklaştırılmıştır. Su banyosunda 1.5 saat daha bekletilmiştir. Kalıptan çıkarılan numune hemen deney aletinin su banyosu içindeki yerine yerleştirilmiştir. Numune suda düzgün duracak şekilde, suyun yoğunluğu önceden ayarlanmıştır. Hiç bekletmeden dakikada 5 cm 'lik bir hızla çekilmiştir. Numune kesitinin ip gibi incelendiği durumda koptuğu kabul edilmiştir ve uzama miktarı cm cinsinden okunmuştur .

Bu şekilde belirlenmiş üç sonucun ortalaması malzemenin düktilitesini (cm) vermiştir (Tablo 20).

### 2.2.10.4. Çözünürlük Deneyi

Asfalt içindeki saf bitüm miktarını belirlemeye yarayan bir deneydir. Önce deney düzeneğinin krözesi hazırlanmalıdır. Bir miktar asbest lifi, damıtık suda dağıtılıp süspansiyon haline getirilmiştir. Bununla kröze doldurulmuştur. Biraz beklenip hafif bir emme uygulanmıştır. Böylece asbest tabakası dibe çöker. Kröze kızdırıldıktan sonra ağırlığında 0.5 g artma oluncaya kadar bu işleme devam edilmiştir. Sonra asbest tabaka suyla iyice yıkanıp etüvde kurutulmuş ve bek aleviyle kızdırılmıştır. Soğutulmuş 0.1 mg duyarlıklı terazide kröze tartılmıştır (A).

2 g civarında numune alınarak darası belli (D) bir erlene konulup tartılmıştır (B). Üzerine 100 cm<sup>3</sup> trikloretilen çözücüsü yavaş yavaş ve karıştırılarak dökülmüştür. Erlenin ağzı kapatılarak 15 dakika bekletilmiştir.

Kröze süzme hunisine yerleştirilmiştir. Kröze dibindeki asbest tabaka çözücüyle ıslatılıp erlendeki çözelti krözeye dökülmüştür. Süzüntü renksiz gelinceye kadar kröze

çözücüyle yıkanmıştır. Kroze çıkarılıp 110 °C 'lik etüvde en az 20 dakika bekletilmiştir. Soğutulup tartılmıştır (C). Saf bitüm yüzdesi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır (Tablo 21).

$$\text{Saf Bitüm Yüzdesi (\%)} = \frac{(B - D) - (C - A)}{(B - D)} \times 100 \quad \dots [2.18]$$

### 2.2.11. Kül Yüzdesi Tayini

İçinde en çok %2 su barındırması kabul edilen numuneden 2 – 5 g alınarak darası belli (D) kröze konulur, 1 mg duyarlıklı terazide tartılır (A). Kröze yavaşça ısıtılmaya başlanır. Kolay uçucu maddeler bittikten sonra krözede oluşan serbest karbon ve kömürleşen madde kuvvetli bir alevde veya mufl fırında tamamen yanıp kayboluncaya kadar kızdırılır. Kröze dejikatörde soğutulup tartılır (B).

$$\text{Kül Yüzdesi} = \frac{B - D}{A - D} \quad \dots [2.19]$$

### 2.3. Marshall Deneyi İle Soğuk Karışım Tasarımı

Ülkemizde bitümlü karışımlara uygulanan stabilite deneyi Marshall deneyidir (13). Deney, her iki yüzüne 45.7 cm yükseklikten düşen 4.5 kg ağırlığındaki özel bir tokmakla 50 ya da 75 darbe vurularak hazırlanan 6.35 cm (2.5 inch) yükseklik ve 10.16 cm (4 inch) çapındaki bitümlü karışım briketlerinin, sıkıştırma yönüne dik olarak bir çelik halkanın iki segmanı arasına yerleştirilmesiyle yapılmıştır. Alt segmanın 51 mm/dakika sabit hızla yaptığı basınç etkisiyle briketin kırılma yükü (stabilitesi - kg) ve akma miktarı (mm) değerleri ölçülmüştür. Belirlenen tabaka için şartnamede belirtilen bitüm yüzdeleri arasında %0.5 artışla 6 set halinde ve her bir sette 3 briket hazırlanmıştır. Sıkışmış briket yüksekliği 6.35 cm olacak şekilde agrega ağırlığı belirlenmiştir. Farklı briket yükseklik değerleri için stabilite düzeltme katsayıları Tablo 7 'de verilmiştir. Briketin farklı yerlerinden üç okuma yapılarak ortalaması briket yüksekliği olarak alınmıştır.

Tablo 7. Marshall stabilite düzeltme katsayıları

Numune		Numune		Numune		Numune		Numune	
Boyu	Faktör	Boyu	Faktör	Boyu	Faktör	Boyu	Faktör	Boyu	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

Asfalt emülsiyonu ile soğuk karışım briketi hazırlanırken karışım öncesi emülsiyon sıcaklığı 20 – 70 °C, karışım sıcaklığı ise 10 – 70 °C arasında olmalıdır (16). Bu çalışmada kullanılan malzemeler 20-25 °C’de bekletilmiş ve kullanılmışlardır.

**Amaç:**

1. Aşırı daimi deformasyonlar ya da yorulma çatlakları oluşmadan, tekrarlanan yüklere dayanmak için gereken dayanıklılığı ve sağlamlığı sağlamaktır.

2. Nem etkisine yeterince duyarsız karışım elde etmektir.

Asfalt emülsiyonu ile hazırlanan soğuk karışımların Marshall deney yöntemine göre dizaynında izlenmiş olan yol ana hatlarıyla aşağıdaki gibidir (17).

1. Agregayı kalite kontrol deneylerine tabi tutmak,
2. Asfalt emülsiyonunu kalite kontrol deneylerine tabi tutmak,
3. Asfalt emülsiyon tipini ve yaklaşık miktarını tespit etmek,
4. Karıştırmadaki ve sıkıştırmadaki su içeriklerini tespit etmek,
5. Asfalt içeriğini seçmek. Bu, bütün dizayn kriterlerini en iyi sağlayan asfalt emülsiyonu yüzdesi olarak belirtilmiştir.

Gerekli hesaplamalar için aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

Agrega miktarı (g);

$$A = \frac{a}{100 - b} \times 100 \quad \dots [2.20]$$

Asfalt emülsiyonu miktarı (g);

$$E = \frac{a \times c}{d} \quad \dots [2.21]$$

İlave edilecek ön (ek) karışım suyu miktarı (g);

$$\text{ösu} = \frac{a}{100} \times \left( f - b - \frac{e \times c}{d} \right) \quad \dots [2.22]$$

Sıkıştırma için kaybolması gereken su miktarı (g);

$$\text{usu} = a \times \left( \frac{f - g}{100} \right) \quad \dots [2.23]$$

Burada;

- a : Briketteki kuru agregaya ağırlığı (g)  
A : Briketteki doğal agregaya ağırlığı  
c : Kuru agregaya ağırlığına göre bitüm yüzdesi  
b : Agregaya doğal nemi (%)



- d : Emülsiyonun asfalt yüzdesi  
e : Emülsiyonun su yüzdesi (100 – d)  
E : Brikete katılacak emülsiyon miktarı (g)  
f : Karışımdaki optimum agrega nemi (Toplam su) (%)  
g : Sıkıştırımadaki toplam su yüzdesi

### 2.3.1. Asfalt Emülsiyonunun Yaklaşık Miktarının Tespiti

Deneme karışımlarında kullanılacak yaklaşık miktar için C.K.E. (Merkez kaç, gazyağı eşdeğeri) deneyi kullanılır. Bu mümkün değilse aşağıdaki amprik bağıntı kullanılabilir (17).

$$P = (0.05 \times A + 0.1 \times B + 0.5 \times C) \times (0.7) \quad \dots [2.24]$$

P, A, B, C birer tamsayı olmak üzere;

- P : Briketteki kuru agrega ağırlığına göre asfalt emülsiyonunun yüzdesi  
A : 2.36 mm'lik (No. 8) elekten geçemeyen agrega yüzdesi  
B : 2.36 mm'lik (No. 8) elekten geçip 0.075 mm'lik (No. 200) elekten geçemeyen agrega yüzdesi  
C : 0.075 mm'lik (No. 200) elekten geçen agrega yüzdesi

Bu çalışmada amprik bağıntıdan istifade edilmiştir.

### 2.3.2. Karışırmadaki Su İçeriğinin Tespiti (Kaplama Sarılma Testi)

Bir asfalt emülsiyonunun bir agregayı sarma kabiliyeti, genellikle, agreganın su muhtevasıyla yakından ilgilidir. Bu duyarlılık, özellikle No. 200 numaralı elekten geçen agrega yüzdesinin yüksek olması durumunda daha çok belirgindir. Ön karışım suyunun yetersiz olduğu durumda asfalt topaklaşır, zayıf ve yetersiz bir karışım ortaya çıkar. Bu nedenle agreganın su içeriğinin seçilmesinde kaplama testi yapılır. Bu testi geçemeyen asfalt emülsiyonu değerlendirmeye alınmaz. Sırasıyla aşağıdaki yol izlenmiştir (17).

1. Amaca uygun emülsiyon tiplerini temsil edici örnekler alınır.
2. Kullanılacak agrega yığını temsil edici örnekler alınır.
3. Agregası 60 °C 'den fazla ısıtılmaz. Isıtmak gerekiyorsa, kabuklanmayı ve sıkıca topaklanmaları önlemek için sık sık karıştırılmalıdır. Açık havada kurutulmuş agrega eleklerden geçecek derecede kuru olmalıdır.
4. Açık havada kurutulmuş agreganın nem içeriği saptanır.
5. Deneme karışımı için agregadan 1100 – 1200 g ağırlığında numuneler alınır.

6. Agrega numunesi karışım kabına boşaltılır. Doğal nem yüzdesinden fazla bir nem yüzdesi için gerekli miktarda su, cılız bir akıntıyla agregayla karıştırılır. Varsa mineral filler, agregadan ayrılmaz beraber karıştırılır.

Yavaş kesilen emülsiyonlar (SS, CSS) karışım için diğerlerinden daha yüksek su muhtevasına ihtiyaç duyarlar. Bu tür emülsiyonlarla yapılacak karışımlarda yaklaşık yüzde 3 'lük ilave su yüzdesiyle karışım denemelerine başlamak uygun olmaktadır. Su ilave edilmiş agrega, asfalt emülsiyonu ile karıştırılmadan önce  $22 \pm 1.7$  °C 'deki muhafazalı bir yerde en az 15 saat bekletilmelidir.

7. Deneme karışımları için yaklaşık olarak belirlenen miktarda ve  $22 \pm 1.7$  °C 'deki emülsiyon, cılız bir akıntıyla nemli agregaya karıştırılır. Karıştırma zamanı, mekanik karıştırıcı için 1 dk.; elle karıştırmada asfalt her noktaya sirayet edinceye kadardır. Aşırı karıştırma soyulmaya neden olabilmektedir.
8. Hazırlanan karışım bir elektrikli fan etkisiyle havada kurumaya bırakılır. Diğer numuneler karışımın toplam su içeriğinde kuru agrega ağırlığına göre %1 'lik artışlar yapılarak 6., 7. ve 8 'inci adımlar tekrarlanarak hazırlanır.
9. Asfalt ile kaplanmış tüm agrega yüzey alanı görsel olarak değerlendirilir. Her su içeriği yüzdesi için kaplanmış alan, tüm yüzeyin yaklaşık bir yüzdesi olarak kaydedilir. %50 'den fazla bir kaplanma – sarılma kabul edilebilir. %100 'lük bir kaplanma genel sıcak karışımlarda olduğu gibi beklenebilirse de bu gereksizdir. %100 'lük sarılma maliyeti artıran yüksek asfalt içerikli karışımlara neden olabilir. Eğer hiçbir su içeriğinde %50 kaplanma elde edilememişse, bu emülsiyon artık dikkate alınmaz. Eğer sarılma sınırda ise kaplanma testi eksiksiz ve titizlikle yapılarak tekrar bir değerlendirme yapılabilir.

Sarılmayı etkileyen diğer bir husus da emülsiyonun kesilme hızıdır. Hız çok düşük ise emülsiyon kesilmeden akarak kayıplara neden olacak, hız fazlaysa sarılma tamamlanmadan kesilme meydana gelecektir (3).

10. Yavaş kesilen (SS, CSS) asfalt emülsiyonlarıyla yapılan karışımlar, genellikle su içeriğinin artmasıyla gittikçe artan bir sarılma – kaplanma sergilerler. Ancak bir noktadan sonra su içeriğindeki artış sarılmayı etkilemez. Dolayısıyla sarılma için, yeterli olan minimum ön karışım suyu gereklidir. Dizayn kurallarına göre yapılacak bütün karışımlar minimum ön karışım su içeriğinde yapılmalıdır.

### 2.3.3. Sıkıştırılmadaki Optimum Su İçeriğinin Tespiti

Karışımın özellikleri sıkıştırılan numunelerin (briketlerin) yoğunluklarıyla yakından ilgilidir. İstenen karışım özelliklerini maksimize etmek için sıkıştırılmadaki su içeriğini optimize etmek gereklidir. Bu çalışmadaki sıkıştırma su içeriğinin tespiti için sırayla aşağıdaki yol takip edilmiştir (17).

1. Sıkıştırılmış karışım özelliklerinin değerlendirilmesinde güvenilir sonuçlar elde etmek için her bir sıkıştırma su muhtevası için üçer karışım hazırlanır. Karışım bir tepsiye veya tavaya en fazla 25 mm (1 inch) kalınlığında yayılır. Tepsiyle beraber karışımın ağırlığı kaydedilir. Elektrikli bir fan yardımıyla sıkıştırma su muhtevalarına ginceye kadar karışım havalandırılır. Bunun için zaman zaman tartarak kontrol edilir.
2. Karışım kalıba dökülmeden önce kalıbın dibine, ölçüye göre kesilmiş mumlu kağıt yerleştirilir. Briket kalıpları ve tokmağın sıkıştırma yüzeyi iyice temizlenir. Kalıp içleri hafifçe yağlanır. Kalıp yakası takılır.
3. Sıkıştırma su içeriğindeki karışım kalıba aktarılır. Bu sırada periyodik olarak küçük bir spatulayla kenarlara 15, iç kısımlara 10 darbe vurularak yerleştirme yapılır. Karışımın segregasyona uğramamasına dikkat edilir. En üste de bir mumlu kağıt konulur. Sonra kalıp, tokmaqlama aletindeki yerine yerleştirilir. 50 darbe vurulur. Daha sonra kalıp ters çevrilir ve 50 darbe daha vurulur.
4. Sıkıştırılmış karışımlar kalıpla beraber 1 gün oda sıcaklığında yan kenarları üzerinde bekletilir. Sonra kalıplardan çıkartılarak 38 °C 'deki etüvde bir gün bekletilir. Etüvden çıkarıldıktan sonra  $22 \pm 1.7$  °C 'ye gelmesi beklenir.
5. Briketlerin havadaki ağırlığı, 22 °C'deki suda yaklaşık bir saat bekletildikten sonra sudaki ağırlığı ve kuru yüzey doymuş ağırlıkları belirlenir. Sıkıştırma için maksimum yoğunluğu veren su içeriği optimumdur. İleri derecede bilgilere gerek duyuluyorsa, asfalt yüzdesi dikkate alınmaksızın, yapılacak tüm sıkıştırılmalarda optimum sıkıştırma su içeriği kullanılmalıdır (24).

### 2.3.4. Karışımdaki Asfalt İçeriği Değişiminin Belirlenmesi

Bunun için test karışımları hazırlanmıştır. Deneme karışımları için yaklaşık olarak belirlenen asfalt içeriği değerinin altında ve üstünde %1'lik artışlarla ikişer set hazırlanmıştır. Her set için en az üç örnek karışım yapılmıştır. Bütün örnekler için

kariştırma, kaplanma-sarıma testinde belirlenen su içeriğinde yapılmıştır. Her asfalt yzdesi için katılacak ek su miktarı ayrıca hesaplanmıştır. Sıkıştırma işlemi ise, belirlenen optimum sıkıştırma su içeriğinde yapılmıştır. Gerekiyorsa havalandırmayla fazla su uzaklaştırılır. Sıkıştırma işleminden sonra briketler, kalıpla beraber oda sıcaklığında bir gün, kalıpsız olarak 38 °C’de bir gün bekletilmiştir.

### Deneyin Yapılışı:

Karişım dizaynını tamamlamak için gerekli analizler sıkışmış örneklerden elde edilen verilerden hareketle yapılır. Deney için standart Marshall deney aleti kullanılmıştır. Yüklemeleri ve deformasyonları gösteren uygun ekipmanlı diğer deney aletleri de kullanılabilir. nce kr edilmiş briketlerin hacim özgül ağırlıkları belirlenir. Bunun için havadaki ağırlık, sudaki ağırlık ve havadaki doygun ağırlık değerleri bulunmuştur. Briketler 22 °C’de muhafaza edilmiştir.

Deney aletindeki rneği kavrayan segmanların 21.1-23.3 °C sıcaklığında kuru ve temiz olmasına dikkat edilmiştir. st segmanın kaydığı çubuk miller de yağlanmıştır. Segmanlar arasına yerleştirilen örnekler tam ortaya konulmuştur. Akma değerini ölçecek flowmetrenin çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiştir. st segman yükleme değme noktasına getirilip yk ve akma değerleri sıfırlanmıştır. Deney başlatılmıştır. Örneğin kırıldığı noktada ekranda görünen stabilite (kN) ve akma (mm) değerleri yükseklik farkı ve birim dikkate alınarak gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra kaydedilmiştir.

Kırılmış rnekler parçalanarak kayıpsız olarak darası belli geniş kaplar içinde 93±6 °C’deki etüve konulmuştur. 24 saat sonra tartılmış ve briketlerin kuru ağırlıkları kaydedilmiştir. Nem yzdesinin hesabında hacim özgül ağırlık ölçümleri sırasında absorbe edilen su miktarı hesaba katılmaz. Briketin havadaki ağırlığından kuru briket ağırlığı çıkarılarak su miktarı bulunmuştur. Elde edilen verilerden deney sırasındaki nem içeriği de hesaplanmıştır.

Yoğunluk ve boşluk analizleri aşağıdaki formüllere göre yapılmıştır.

$$G_p = \frac{B_h}{B_d - B_s} \quad \dots [2.25]$$

$$G_k = G_p \times \frac{(100 + c)}{(100 + c + B_n)} \quad \dots [2.26]$$

$$B_n = \frac{B_h - B_k}{B_k} \times (100 + c) \quad \dots [2.27]$$

$$VMA = \left[ \frac{\left( \frac{100 + c + Bn}{G_p} - \frac{100}{G_h} \right)}{\left( \frac{100 + c + Bn}{G_p} \right)} \right] \times 100 \quad \dots [2.28]$$

$$Vc = \left[ \frac{\left( \frac{\frac{c}{G_c} \times 100}{100 + c + Bn} \right)}{\left( \frac{100 + c + Bn}{G_p} \right)} / VMA \right] \times 100 \quad \dots [2.29]$$

$$V = \left[ \frac{\left( \frac{100 + c + Bn}{G_p} - \frac{100}{G_h} - \frac{c}{G_c} \right)}{\left( \frac{100 + c + Bn}{G_p} \right)} \right] \times 100 \quad \dots [2.30]$$

Burada;

- Gh : Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı  
 Gc : Emülsiyon buharlaştırma kalıntısının (asfaltın) özgül ağırlığı  
 Bh : Briketin havadaki ağırlığı  
 Bs : Briketin sudaki ağırlığı  
 Bd : Briketin kuru yüzey doygun ağırlığı  
 BK : Briketin tamamen kuru ağırlığı  
 Bn : Briketteki nem yüzdesi  
 Gp : Briketin pratik özgül ağırlığı  
 Vh : Kuru briketteki hava boşluğu yüzdesi  
 VMA : Briketteki agregalar arası boşluk yüzdesi  
 Vc : Briketteki bitümle dolan boşluk yüzdesi  
 Gk : Briketin kuru hacim özgül ağırlığı

Verilen bir asfalt içeriğine ait akma ve stabilite değerleri için bütün örneklerin ortalaması alınmıştır. Hatalı olduğu açık olan örnekler ortalamaya katılmamıştır. Aşağıda belirtilen değişimlerin grafikleri çizilmiştir.

- Stabilite-bitüm yüzdesi
- Akma miktarı-bitüm yüzdesi
- Kuru yoğunluk- bitüm yüzdesi
- Absorbe nem yüzdesi -bitüm yüzdesi

- Agregalar arası boşluk -bitüm yüzdesi

Bu grafiklerde, bütün değerler için en uygun eğri çizilmiştir.

Optimum Asfalt İçeriğinin Belirlenmesi aşağıdaki hususlar dikkate alınarak yapılmıştır.

1. Karışım yağışlı mevsimlerdeki doygunlukta meydana gelecek trafik yüklemelerine eşit bir stabiliteyi sağlamalıdır.
2. Karışım içindeki toplam boşluk, aşırı kalıcı deformasyonlara, aşırı nem absorpsiyonuna ve asfaltın yaşlanmasına engel olacak bir değer aralığında olmalıdır.
3. Karışım içindeki nem, asfalt-agrega adezyonunu zayıflatacak derecede olmamalıdır.
4. Asfalt agregayı yeterince sarmalı, soyulmaya ve kazınmaya karşı dirençli olmalıdır. Bu da akma değeri (kohezyon) ile alakalıdır.

Eğer, herhangi bir pik değer gelişmezse ki, bu çalışmada öyle olmuştur, değerlendirme yapılarak en uygun asfalt yüzdesine karar verilir.

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Agregaya Uygulanan Deneylerden Elde Edilen Bulgular

Gradasyon, özgül ağırlık, aşınma kaybı, donma kaybı ve soyulma direnci değerleri tablolar haline getirilmiş ve aşağıda verilmiştir.

Tablo 8. Agregada gradasyonu ve şartname limitleri

Elek Açıklığı	Karışım Gradasyonu (Şartname Ortalaması) % Geçen	Şartname Tolerans Limitleri (%)	Tolerans Limitlerine Göre % Geçen	Yollar Fenni Şartnamesi (1997) Aşınma TipII % Geçen
3/4"	100	±5	100	100
1/4"	91,5	±5	86,5-96,5	83-100
3/8"	80	±5	75-85	70-90
No. 4	47,5	±5	42,5-52,5	40-55
No. 10	32,5	±4	28,5-36,5	26-39
No. 40	15	±4	11-19	10-20
No. 80	10,5	±4	6,5-14,5	6-15
No. 200	7	±2	5-9	4-10

Tablo 9. Agreganın Aşınma Kaybı

Numunenin İlk Ağırlığı (g)	A	5005,71
Numunenin Son Ağırlığı (g)	B	3931,48
Aşınma Kaybı (%)	$[(A-B)/A] \times 100$	21,46
Standartta Belirtilen Aşınma Max. %		35,00

Tablo 10. Agreganın Donma Kaybı

Elekler	% Geçen (P)	Elekte % Kalan	Deneyden Önceki Ağırlık (g)	Deneyden Sonraki Ağırlık (g)	Kayıp (%)	Düzeltilmiş Kayıp (%)
3/4"	100	0	-	-	-	-
1/2"	91,5	8,5	673,52	629,54	6,53	0,82
3/8"	80	11,5	334,18	321,04	3,93	0,67
No. 4	47,5	32,5	303,09	299,63	1,14	0,55
No. 10	32,5	15,0	102,87	101,52	1,31	0,29
Toplam		67,5				2,33
Standartlarda Belirtilen Donma Kaybı Max. %						10,00

Tablo 11.Kaba Agrega Numunesini Oluşturacak Miktarlar

Elekler	% Geçen (P)	Elekte % Kalan	Alınacak Miktarlar (g) [% Kalan*(100/52.5)*1200]
¾"	100	0	0
½"	91,5	8,5	324
3/8"	80	11,5	438
No. 4	47,5	32,5	1238
Toplam		52,5	2000

Tablo 12. Kaba Agreganın Özgül Ağırlıkları ve Su Emmesi

Tamamen Kuru Agrega Ağırlığı (g)	A	2005,12
Yüzeyi Kuru Doygun Agreganın Havadaki Ağırlığı (g)	B	2020,54
Doygun Agreganın Sudaki Ağırlığı (g)	C	1281,46
Hacim Özgül Ağırlık, Ghk (g/cm <sup>3</sup> )	A/(B-C)	2,71
Doygun Hacim Özgül Ağırlık, Gdhk (g/cm <sup>3</sup> )	B/(B-C)	2,73
Zahiri Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	A/(A-C)	2,77
Su Emme Yüzdesi (%)	[(B-A)/A] x 100	0,769

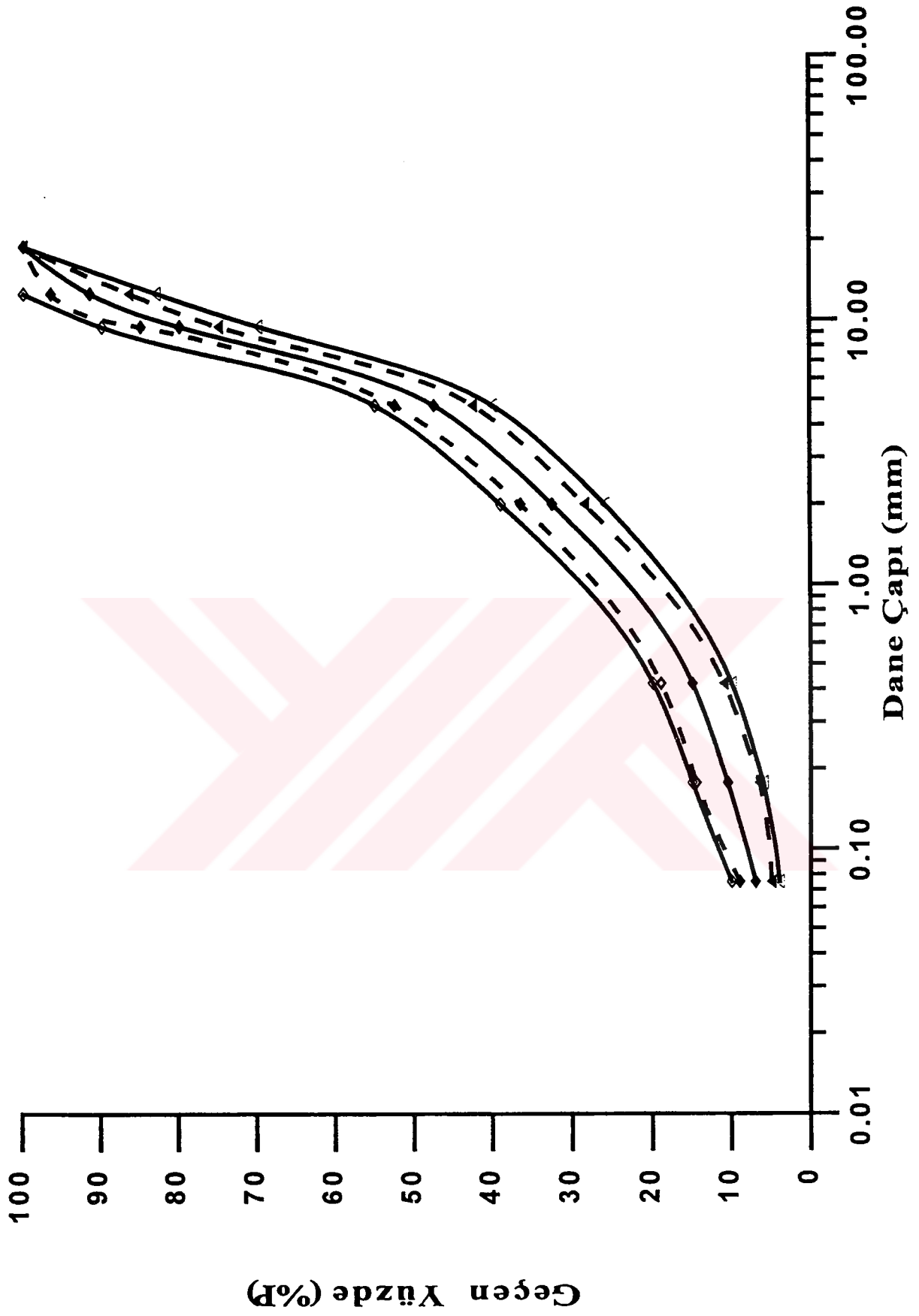
Tablo 13.İnce Agrega Numunesini Oluşturacak Miktarlar

Elekler	Geçen %	Elekte % Kalan	Alınacak Miktarlar (g) [% Kalan*(100/40.5)*1200]
No. 10	32,5	15	185
No. 40	15	17,5	216
No. 80	10,5	4,5	56
No. 200	7	3,5	43
Toplam		40,5	500

Tablo 14. İnce Agreganın Özgül Ağırlıkları ve Su Emmesi

Tamamen Kuru Agrega Ağırlığı (g)	A	502,42
Piknometre Darası (g)	D	550,42
Su Dolu Piknometre Ağırlığı (g)	E	1531,24
Piknometre + Yüzeyi Kuru Doygun Agrega Ağırlığı (g)	B	1080,08
Piknometre + Doygun Agrega + Su Ağırlığı (g)	C	1856,01
Hacim Özgül Ağırlık, Ghi (g/cm <sup>3</sup> )	A / [(E-D)-(C-B)]	2,452
Doygun Hacim Özgül Ağırlık, Gdhi (g/cm <sup>3</sup> )	(B-D) / [(E-D)-(C-B)]	2,585
Zahiri Özgül Ağırlık, Gzi (g/cm <sup>3</sup> )	A / [E-(C-A)]	2,828
Su Emme Yüzdesi (%)	[(B-D)-A] / A	5,422





Şekil 1. Granülometri eğrisi

Tablo 15. Mineral Fillerin (Mermer Tozunun) Özgül Ağırlığı

Kuru Filler Ağırlığı (g)	A	68,3
Piknometre Ağırlığı (g)	D	46,18
Piknometre + Su Ağırlığı (g)	E	149,60
Piknometre + Filler + Su Ağırlığı (g)	C	192,03
Zahiri Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	$A/[E-(C-A)]$	2,64

Tablo 16. Agregada Doğal Nemi

Dara (g)	D	201,95
Dara + Agregada (g)	B	1406,78
Dara + Kuru Agregada (g)	A	1404,85
Doğal Nem Yüzdesi (%)	$(B-A) / (A-D)$	0,16

Agreganın Soyulma Direnci, 2.1.6. başlığı altında anlatıldığı şekilde yapılan deney sonucunda yaklaşık %60 olarak belirlenmiştir. Bu değer standartta belirtilenin (min. % 50) üzerindedir. Böylece kullanılan agreganın uygun olduğuna karar verilmiştir.

### 3.2. Asfalt Emülsiyonuna Uygulanan Deneylerden Elde Edilen Bulgular

Tablo 17. Buharlaştırma Kalıntısı

Dara + Cam Çubuk (g)	D	418,98
Dara + Cam Çubuk + Emülsiyon (g)	A	487,03
Dara + Cam Çubuk + Kalıntı Asfalt (g)	B	465,93
Emülsiyonun Su Yüzdesi (%)	$[(A-B) / (A-D)] \times 100$	31,00
Emülsiyonun Asfalt Yüzdesi (%)	$[(B-D) / (A-D)] \times 100$	69,00

Tablo 18. Kalıntı Asfaltın Özgül Ağırlığı

Piknometrenin Darası (g)	D	46,18
Piknometre + Su (g)	E	149,60
Piknometre + Asfalt (g)	A	63,94
Piknometre + Asfalt + Su (g)	B	150,03
Asfaltın Özgül Ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> )	$(A-D) / [(E-D)-(B-A)]$	1,025

Tablo 19. Kalıntı Asfaltın Penetrasyonu

Batırma	Batma Miktarı (mm)	Penetrasyon (0,1 mm)
1	16	170
2	18	
3	17	
Standartta Belirtilen		100-200

Tablo 20. Kalıntı Asfaltın Düktilitesi

Briket No	Briketin Uzama Miktarı (cm)	Düktilite
1	149	151
2	153	
3	151	
Standartta Belirtilen (min.)		40

Tablo 21. Kalıntı Asfaltın Saf Bitüm Yüzdesi

Asfaltın Ağırlığı (g)	A	2,050
Çözünmeyen Madde Ağırlığı (g)	B	0,029
Saf Bitüm Yüzdesi (%)	(A-B) / A	98,58
Standartta Belirtilen (min.)		97,50

### 3.3. Marshall Deneyi İle Soğuk Karışım Tasarımından Elde Edilen Bulgular

Önce değişik asfalt içeriklerinde soğuk karışım örnekleri hazırlanmış, bunlardan hareketle elde edilen bulgulardan hareketle tesbit edilen optimum asfalt içeriğinde, agreganın filler kısmına filler yüzdesi sabit kalacak şekilde değişik oranlarda kireç katılarak karışım örnekleri hazırlanmış ve kirecin etkisi incelenmiştir.

Tablo 22. Her brikette dane çaplarına göre alınacak agrega miktarları

Elek Açıklığı	Agrega Gradasyonu % Geçen	Elek Üstünde % Kalan	Briket İçin Alınan Miktar (g)
3/4"	100	0	1200*0=0
1/4"	91,5	8,5	102
3/8"	80	11,5	138
No. 4	47,5	32,5	390
No. 10	32,5	15	180
No. 40	15	17,5	210
No. 80	10,5	4,5	54
No. 200	7	3,5	42
Tava	0	7	84
TOPLAM		100	1200

Deneme karışımları için yaklaşık emülsiyon yüzdesi [2.24] bağıntısından;

$$A = 64,$$

$$B = 29,$$

$$C = 7,$$

alınarak

$P \cong 7,0$

olarak bulunur.

Emülsiyon miktarı  $= [7 \times 1200] / 100 = 84$  g 'dır.

Tablo 23. Kaplanma Testi Sonuçları

Emülsiyon %	Ek su %	Kaplanma %
7,0	3,0	50
	4,0	60-65
	5,0	65

Maksimum kaplanma %65 olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda, emülsiyon kullanılabilir. Böylece kaplanmayı en üst düzeyde sağlayan en az ek su içeriği %5 olarak belirlenmiştir.

$f = 7,33$  %

olarak bulunmuştur. f ve c sabit tutularak hazırlanan karışım örnekleri değişik su içeriklerinde sıkıştırılmıştır. Fazlalık su elektrikli fan ile uzaklaştırılmıştır.

Tablo 24. Sıkıştırma su içeriğinin belirlenmesi

c (%)	f (%)	g (%)	usu (g)	n	Bh (g)	Bs (g)	Bd (g)	Gp $g/cm^3$	Ort. Gp $g/cm^3$	S (kg)	Ak. (mm)		
4,83	7,33	6,5	9,96	1	1251.5	715.0	1274.5	2.237	2.236	395	5.3		
				2	1255.0	713.0	1272.5	2.243					
				3	1253.5	714.5	1276.5	2.230					
		5,5	21,96	21,96	21,96	1	1260.0	713.0	1287.0	2.210	2.205	395	4.6
						2	1263.5	710.5	1283.5	2.205			
						3	1262.5	714.0	1288.0	2.200			
		4,5	33,96	33,96	33,96	1	1258.5	710.0	1283.5	2.194	2.190	434	5.6
						2	1260.0	705.5	1281.5	2.187			
						3	1258.0	708.0	1282.5	2.190			
		3,5	45,96	45,96	45,96	1	1255.0	706.0	1282.0	2.179	2.182	455	5.6
						2	1256.5	702.0	1278.0	2.182			
						3	1256.0	703.5	1278.0	2.186			
		2,5	57,96	57,96	57,96	1	1257.0	700.5	1275.5	2.185	2.176	516	4.6
						2	1255.5	701.5	1280.0	2.170			
						3	1255.0	703.0	1280.0	2.174			
		1,5	69,96	69,96	69,96	1	1260.5	701.5	1276.5	2.191	2.183	495	7.6
						2	1258.5	699.0	1275.5	2.183			
						3	1260.0	703.5	1283.0	2.175			

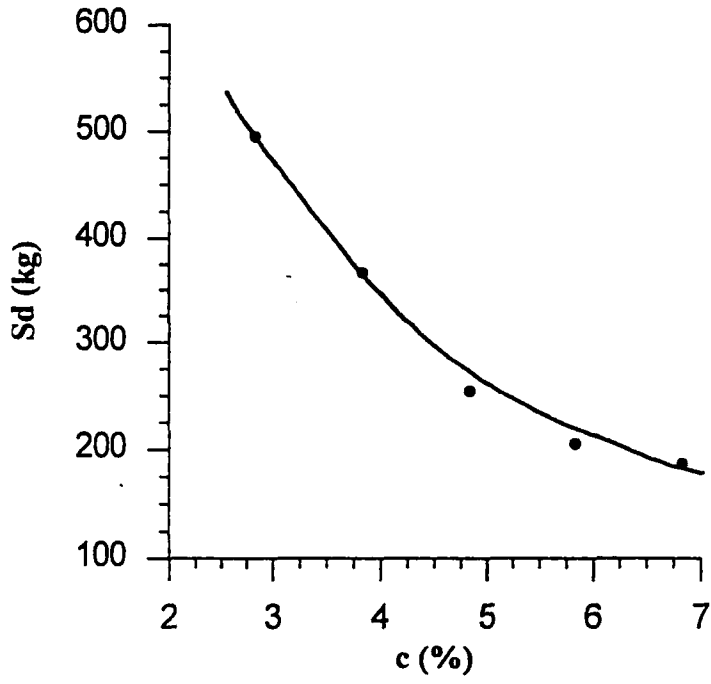
Optimum sıkıştırma su içeriği maksimum yoğunluğu veren sıkıştırma su içeriğidir. Bu da Tablo 24'den görüleceği gibi % 6.5 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla karıştırma anındaki toplam su içeriğinde (%7,33) sıkıştırma yapılmış demektir. Çünkü karışım yapıp emülsiyonun kesilmesi tamamlandıktan sonra serbest kalan suyun bir kısmı karışım kalıba yerleştirilirken akıp gitmektedir.

Optimum asfalt içeriğini belirlemek için yukarıda belirlenen f ve g değerleri sabit tutularak değişik c'lerde karışım örnekleri hazırlanmış ve test edilmiştir. Sonuçlar Tablo 25'te verilmiştir.

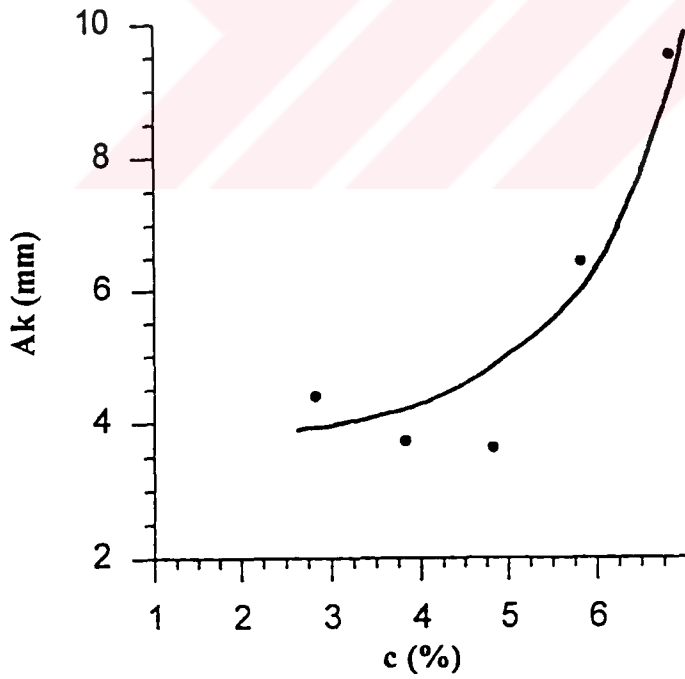


Tablo 25. Soğuk Karışım Marshall Deneysel Bulguları ve Analizler

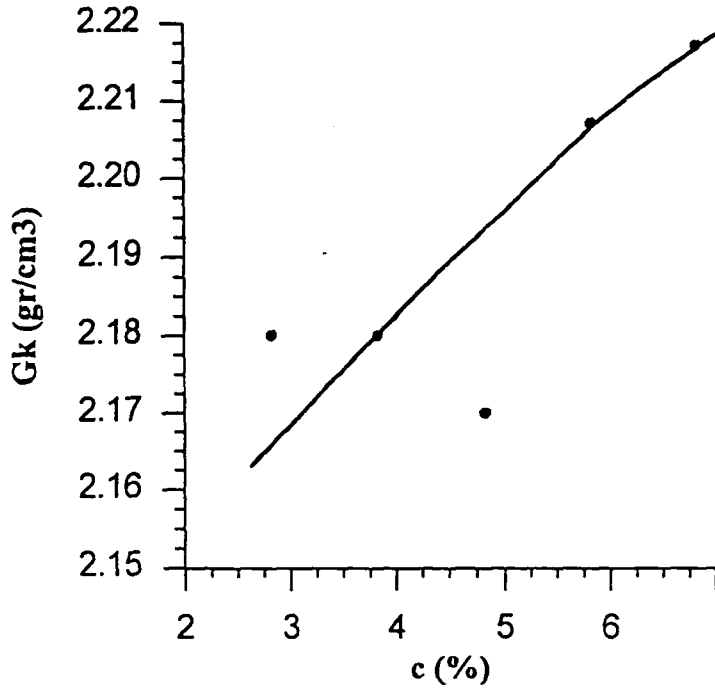
c (%)	E (g)	ösu (g)	n	h (mm)	Bh (g)	Bs (g)	Bd (g)	BK (g)	Gp (g/cm <sup>3</sup> )	Bn (%)	Gk (g/cm <sup>3</sup> )	VMA (%)	Vh (%)	Vc (%)	S (kg)	dk	Sd	Ak (mm)
2.83	49.2	70.8	1	6.63	1218,0	706,0	1246,0	1211,8	2.256	0.5	2.190	16,0	10,0	37.5	537	0.934	502	4.3
			2	6.68	1217,5	705,5	1246,5	1211	2.250	0.5	2.190							
			3	6.70	1218,0	707,0	1252,5	1211,3	2.233	0.5	2.160							
			ORTALAMALAR						2.246	0.5	2.180							
3.83	66.6	65.4	1	6.82	1236,5	709,0	1264,0	1227,9	2.280	0.7	2.210	17,0	8.9	47.3	402	0.890	358	3.4
			2	6.78	1236,5	710,5	1262,0	1227	2.242	0.8	2.180							
			3	6.85	1236,0	708,5	1264,5	1227,6	2.233	0.6	2.160							
			ORTALAMALAR						2.248	0.7	2.180							
4.83	84	60	1	7.00	1257,5	715,5	1279,5	1247,6	2.230	0.8	2.170	18.5	8.5	53.8	277	0.856	237	3.6
			2	6.90	1255,0	715,5	1278,5	1247,4	2.229	0.6	2.170							
			3	6.95	1255,5	716,0	1280,0	1247,9	2.226	0.6	2.170							
			ORTALAMALAR						2.228	0.7	2.170							
5.83	101.4	54.6	1	6.97	1274,5	720,0	1287,0	1263	2.248	0.9	2.206	18.7	6.7	64	260	0.862	224	6.4
			2	6.95	1270,0	716,5	1282,5	1260,9	2.244	0.7	2.206							
			3	6.95	1267,5	720,5	1284,5	1263,7	2.247	0.3	2.210							
			ORTALAMALAR						2.246	0.8	2.207							
6.83	118.8	49.2	1	6.97	1281,0	723,0	1289,0	1264	2.263	1.3	2.220	19.3	5.3	72.2	218	0.862	188	9.5
			2	6.97	1277,0	720,5	1284,5	1262,9	2.264	1.1	2.230							
			3	7.00	1279,5	720,0	1289,0	1262,7	2.249	1.3	2.200							
			ORTALAMALAR						2.259	1.2	2.217							



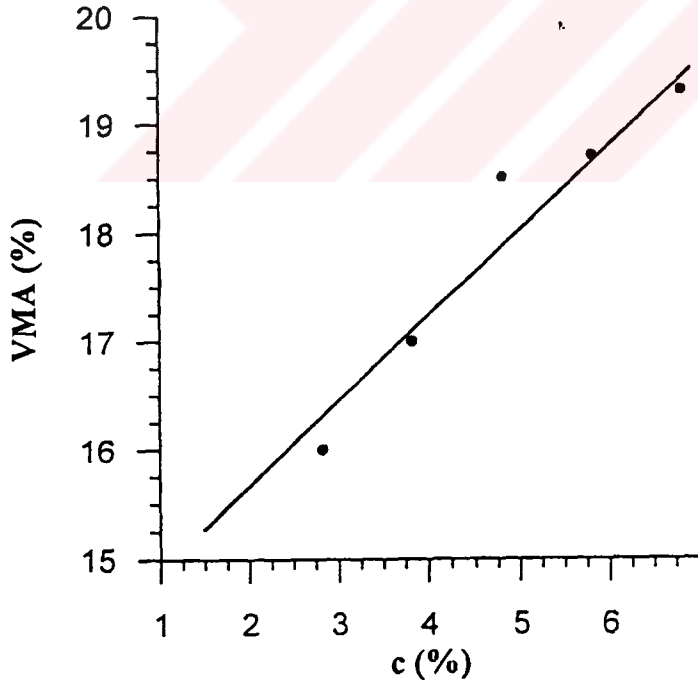
Şekil 2. Stabilite – Asfalt yüzdesi ilişkisi



Şekil 3. Akma miktarı – asfalt yüzdesi ilişkisi

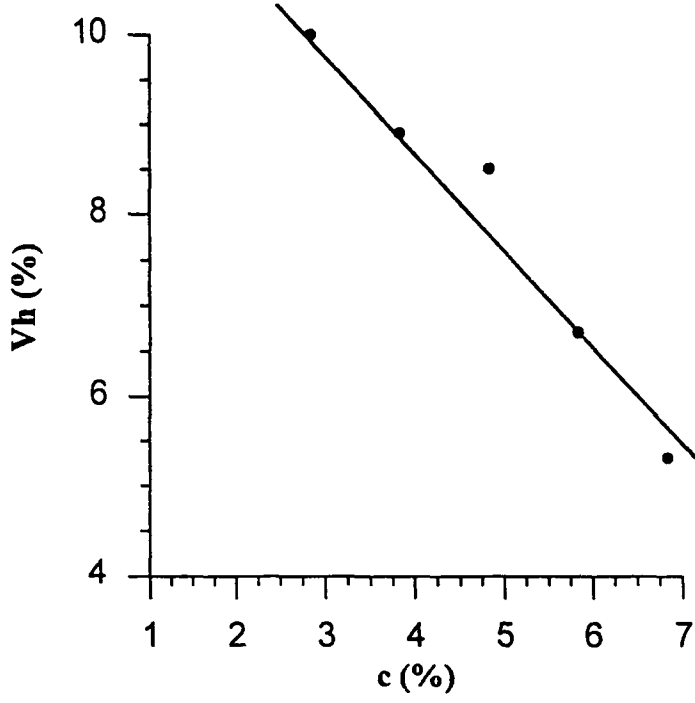


Şekil 4. Kuru yoğunluk – Asfalt yüzdesi ilişkisi

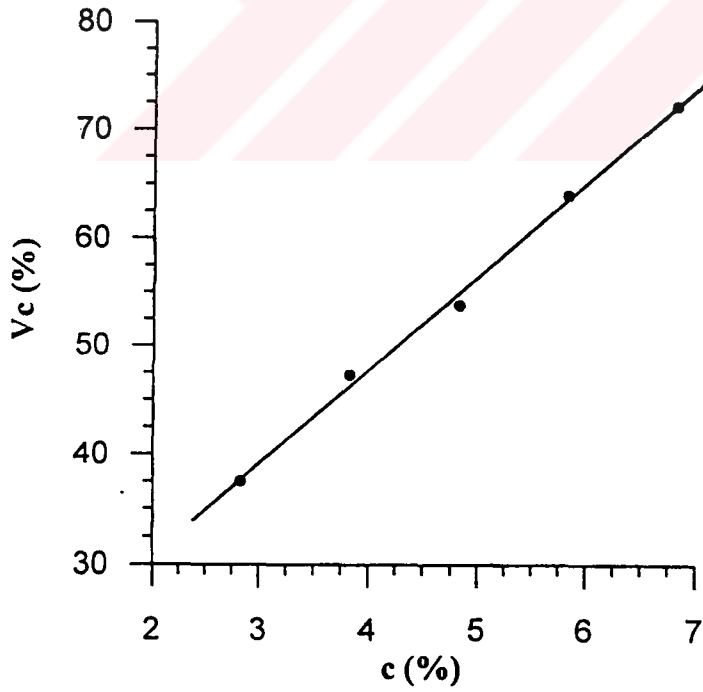


Şekil 5. Agregalar arası boşluk yüzdesi – asfalt yüzdesi ilişkisi

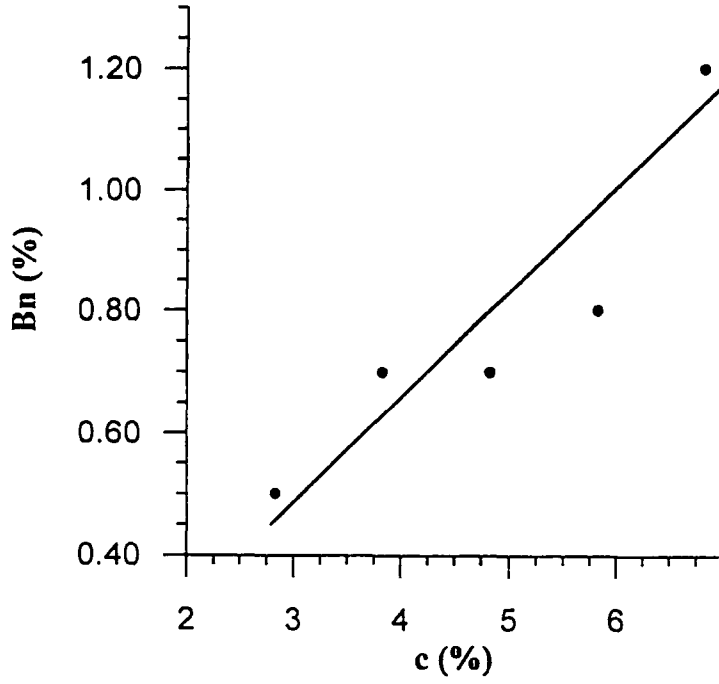




Şekil 6. Hava boşluğu yüzdesi – asfalt yüzdesi ilişkisi



Şekil 7. Asfaltla dolu boşluk yüzdesi – asfalt yüzdesi ilişkisi



Şekil 8. Absorbe nem yüzdesi – asfalt yüzdesi ilişkisi

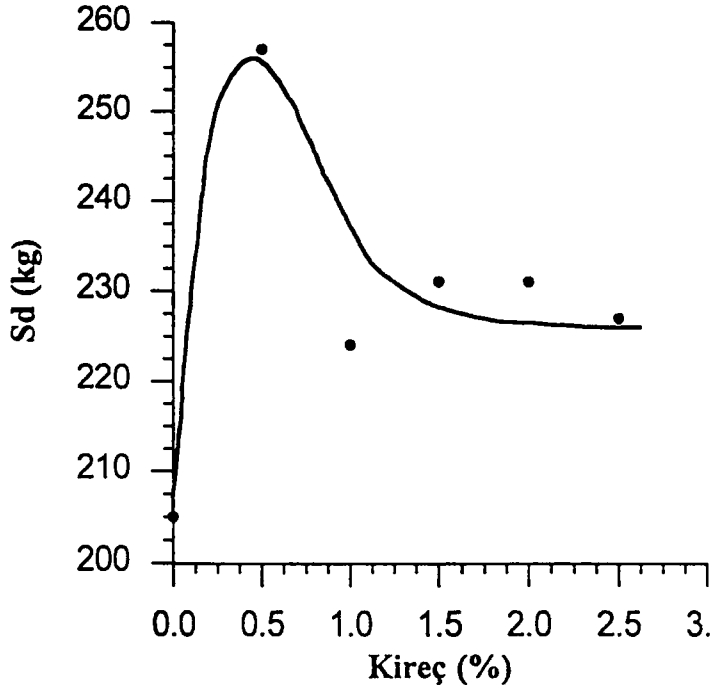
Stabilite- asfalt yüzdesi ilişkisi sıcak karışımdakinden (çan eğrisi) farklı olarak devamlı bir azalma şeklinde olmuştur. Burada akma değerlerinin fazla olması agrega – asfalt kohezyonunun yeterli olduğunu göstermektedir. Ancak asfaltla sarılı agrega daneleri arasındaki kohezyonun bünyedeki su nedeniyle yetersiz kaldığı asfalt yüzdesinin artmasıyla da içsel sürtünme açısının azaldığı böylece stabilitenin gittikçe düştüğü kanaatine varılmıştır.

Herhangi bir pik değer gelişmediğinden akma, stabilite, boşluk yüzdesi, asfaltla dolu boşluk yüzdesi, absorbe nem yüzdesi gibi değerler incelenmiş ve en kritik asfalt yüzdesinin %5,83 olduğuna karar verilmiştir. Bu asfalt yüzdesinde kireç katkılı soğuk karışım briketleri hazırlanmıştır.

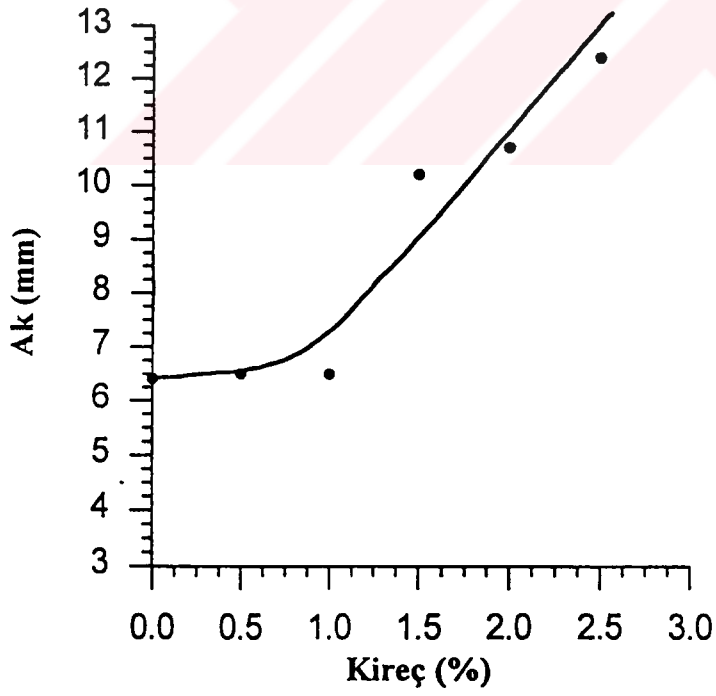
Tablo 26. Fillere Kireç Katılma Oranları ve Miktarları

Toplam Filler (%)	Kireç (%)	Filler (%)	Kireç Miktarı (g)	Filler Miktarı (g)
7,0	0,5	6,5	6,0	78,0
	1,0	6,0	12,0	72,0
	1,5	5,5	18,0	66,0
	2,0	5,0	24,0	60,0
	2,5	4,5	30,0	54,0
	3,0	4,0	36,0	48,0

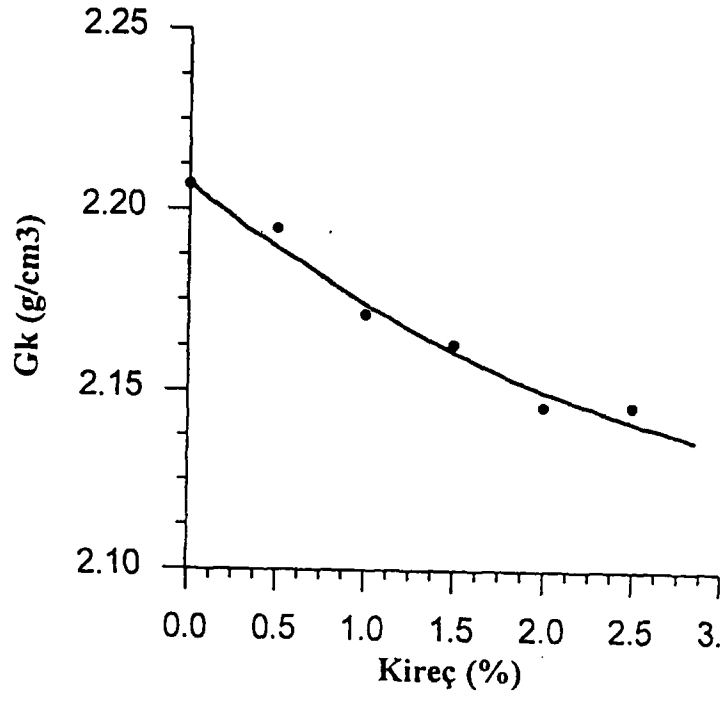




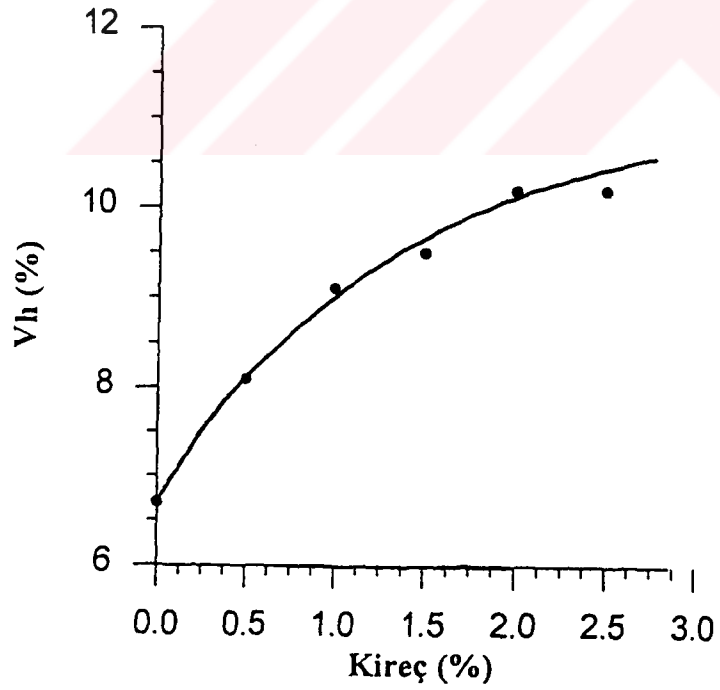
Şekil 9. Stabilite – kireç yüzdesi ilişkisi



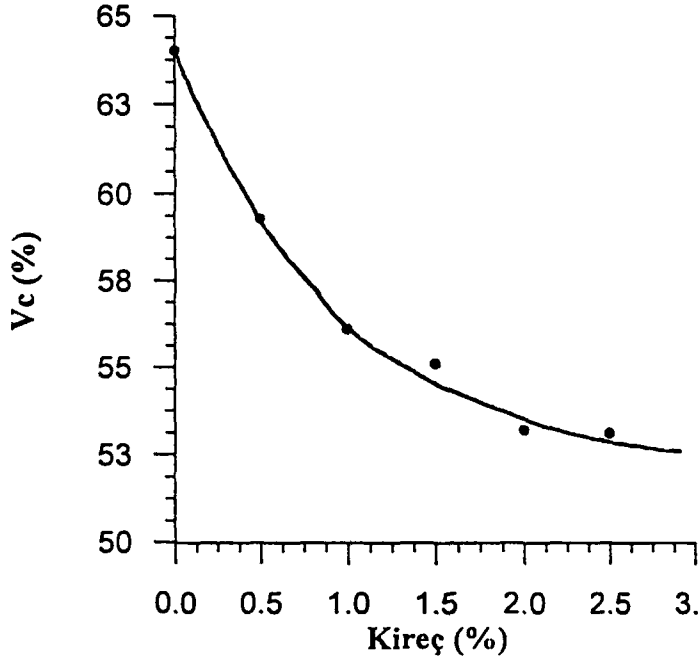
Şekil 10. Akma Miktarı – kireç yüzdesi ilişkisi



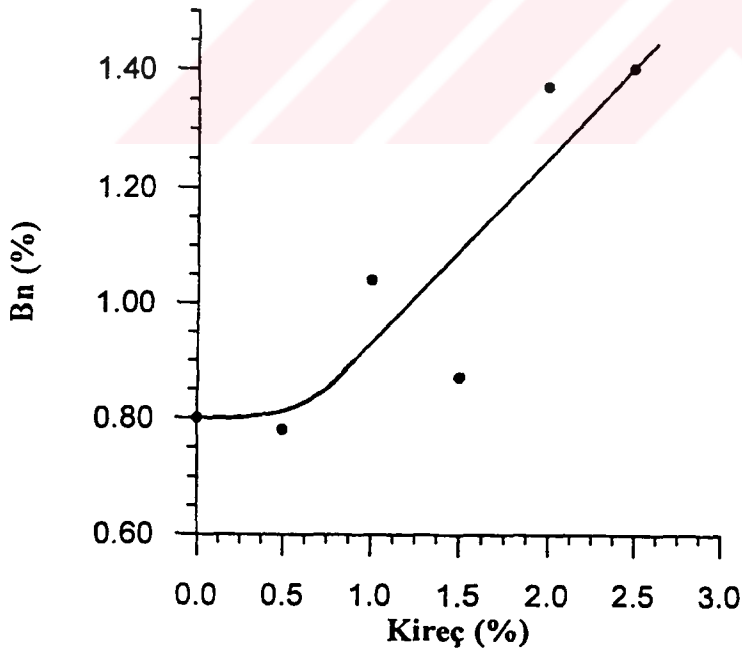
Şekil 11. Kuru yoğunluk – kireç yüzdesi ilişkisi



Şekil 12. Hava boşluğu yüzdesi – kireç yüzdesi ilişkisi



Şekil 13. Asfaltla dolu boşluk yüzdesi – kireç yüzdesi ilişkisi



Şekil 14. Absorbe nem yüzdesi – kireç yüzdesi ilişkisi

#### 4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında yapılan deney ve gözlemlerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Genelde kalker kökenli agrega, standart deneylere tabi tutulmuş ve aşınma tabakasında kullanılmaya uygun olduğu görülmüştür. Yine CSS-1 sınıfı asfalt emisyonu üzerinde standart deneyler yapılmış ve yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.
2. Soğuk karışım briketlerinin Marshall Stabilitesi her ne kadar literatürde (24) belirtilen minimum 227 kg'ı aşmış olsa da bu değerler sıcak karışımlar için belirlenen minimum değerlerin (600- 900 kg) çok altındadır ve asfalt yüzdesi-stabilite grafiği giderek düşen bir seyir izlemektedir. Ayrıca akma miktarları da sıcak karışımlardan beklenenin üzerindedir.
3. Fillere kireç katılması durumunda karışımın kalıplara yapışmadığı ve daha esnek olduğu gözlenmiştir. Akma miktarları ve stabilite artmıştır. En çok stabilite artışı %1'den az kireç oranlarında yaklaşık %25'tir. Kirecin soğuk karışım üzerinde stabilite artışı dışında olumlu bir etkisi gözlenmemiştir. Sıkışmayı engelleyerek boşluk oranlarını arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Emülsiyonun kesilme hızının iyi ayarlanması durumunda daha iyi sonuçların alınabileceği düşünülmektedir. Ayrıca agrega- emülsiyon etkileşimini gözlemek için anyonik emülsiyon ile kalker kökenli agrega karışımı yada asitik bir agrega ile kationik emülsiyon karışımı yapılabilir. Karıştırmadakinden daha düşük su muhtevalarında sıkıştırma yapılarak kirecin etkisi incelenebilir. Mevcut deney sonuçları yetersiz olup kesin bir sonuca varmak için daha detaylı verilere ihtiyaç vardır.

## 5. KAYNAKLAR

1. Umar, F., Açar, E., Yol Üstyapısı, 4. Baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1991.
2. Bitüm Emülsiyonları ve Yoldaki Uygulamaları, Karayolları Genel Müdürlüğü, 1992.
3. Urgan, S., Asfalt Emülsiyonları ve Bunların Teknik Uygulamaları, Teknik Bülten, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 1971.
4. RRL (Çeviri V. Kumbasar, F. Kumbasar, A. Önal), Yol Mühendisleri İçin Zemin Mekaniği, Yayın No: 783, İTÜ Matbaası, İstanbul, 1970.
5. Gedik, İ., Genel Jeoloji, Yayın No: 86, KTÜ Matbaası, Trabzon, 1985.
6. Üşenmez, Ş., Mühendisler İçin Jeoloji, Gazi Üniversitesi Yayını, Ankara, 1985.
7. Erguvanlı, K., Mühendislere Jeoloji, Sayı: 709, İTÜ Matbaası, İstanbul, 1967.
8. Yağız, F., Işıksalan, C., Keçeciler, A. F., Akkol, G., Bitümlü Malzemeler, Yayın No: 149, KGM, İş Matbaacılık, Ankara, 1967.
9. Boutet, D., (Çev: Tefik Taylan), Yol Tekniğinin Bugünkü Durumu, Cilt II, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul, 1953
10. Uluçaylı, M., Bitümlerin Modifikasyonu, Yollar Türk Milli Komitesi 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildirileri, Ankara, 1998.
11. Çakıroğlu, M., Asfalt Emülsiyonlarının Doğu Karadeniz Bölgesi Yol Üstyapısında Kullanılması, İnşaat Mühendisleri Odası Trabzon Şubesi, Mühendislik Bülteni, Sayı: 51, Trabzon, 1997.
12. Yol Üstyapısında Kullanılan Asfalt Emülsiyonları ve Sıvı Petrol Asfaltların Teknik ve Ekonomik Yönden Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi, Yollar Türk Milli Komitesi, Ankara, 1995.
13. Önal, M. A., Kahramangil, M., Bitümlü Karışımlar Laboratuar El Kitabı, TCK Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1993.
14. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, TCK Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1995.
15. Uzuner, B. A., Temel Zemin Mekaniği, 2. Baskı, Teknik Yayınevi, İMO Trabzon Şubesi, Ankara, 1992.



16. Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Soğuk Karışımlarda Agregada Gradasyonunun Optimum Bitüm Muhtevasına Etkisi, Ulusal Asfalt Sempozyumu-98 Bildirileri, YTMK, Ankara, 1998

17. Asphalt Cold Mix, Manual Series No: 14, Asphalt Institute, USA, 1997.



## 6. ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Trabzon'da doğdu. Trabzon lisesinden 1990 yılında mezun oldu. Aynı yıl KTÜ Mühendislik – Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. Mezun olduğu 1995 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 1996 yılı Ekim ayında Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. YÖK'ün çıkarmış olduğu kanun çerçevesinde Nisan-1999'da KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsüne geçici olarak görevlendirildi. İngilizce bilmektedir.

