

**AGREGALARDAKİ TOZLULUK
DERECESİNİN BİTÜM BAĞLAYICILAR
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan DOĞAN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Hüseyin AKBULUT

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Haziran 2011

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AGREGALARDAKİ TOZLULUK
DERECESİNİN BİTÜM BAĞLAYICILAR
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Hasan DOĞAN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Hüseyin AKBULUT

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Haziran 2011

TEZ ONAY SAYFASI

Hasan DOĞAN tarafından hazırlanan “AGREGALARIN TOZLULUK DERECESİNİN BİTÜM BAĞLAYICILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğini ilgili maddeleri uyarınca 07/06/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Yapı Eğitimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Hüseyin AKBULUT

Başkan : Prof. Dr. Mehmet Saltan İmza
Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Üye : Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Hüseyin AKBULUT İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

07/06/2011

Hasan DOĞAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AGREGALARIN TOZLULUK DERECEŚİNİN BİTÜM BAĞLAYICILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Hasan DOĞAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi,

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin AKBULUT

Ülkemizde her yıl yol yapımında 100 milyon ton civarında agregâ kullanılmakta olup, yol üstyapı tabakalarının teşkilinde temel yapıtaşı niteliğindeki bu agregaların kalitesi, yolun mekanik dayanımı, hizmet ömrü ve trafik güvenliği açısından hayati bir önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Agregaların Tozluluk Derecesinin Bitüm Bağlayıcılar Üzerindeki Etkileri belirlenmesi amaçlanmıştır. Asfalt kaplamalarda bitüm ile agregâ arasındaki yapışma, agregâ yüzeyindeki toz tabakasından etkilenmektedir. Bu çalışmada iki farklı ocaktan agregalar temin edilmiştir. Agregâ örnekleri üzerinde; özgül ağırlık, birim ağırlık, elek analizi, su emme, nem durumu, Los Angeles, darbelenme ve donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Sıcak Karışım deneyleri olarak; soyulma, vialit, dolaylı çekme, Marshall Stabilite ve Akma ve Marshall Mekanik Batırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Marshall deneyinde agregâ numuneleri tozlu, orta tozlu ve tozsuz olarak sınıflandırılmıştır ve altı farklı tip Marshall deney numunesi üretilmiştir. Elde edilen sonuçlar, agregâ yüzeyindeki toz tabakasının agregalar ile bitüm arasındaki adezyonu önemli ölçüde etkilediği gözlenmiştir.

2011, 142 sayfa

Anahtar Kelimeler: Agregâ, Bitümlü Bağlayıcı, Adezyon, Agregâ Tozluluk Derecesi.

ABSTRACT

Ms. Sc.

AN INVESTIGATION ON EFFECT OF AGGREGATES DUSTY DEGREE ON BITUMEN BINDERS

Hasan DOĞAN

Afyon Kocatepe University,

Graduated School of Natural and Applied Science

Department of Construction Education

Supervisor: Assoc.Prof.Hüseyin AKBULUT

Per year nearly 100 million tons of aggregates are used in road construction in Turkey. The quality of aggregates as a main material of the construction of road pavements layers, is very important from the point of view of mechanical resistance, long service life, traffic safety and environmental impacts. The long-term performance of hot mix asphalt is strongly dependent on the characteristics of the aggregate in the mixture.

In this study was determined to aim of the effect of aggregates dusty degree on bitumen binders. Flexible pavements affected adhesion between to bitumen and aggregate due to layer of dust on the surface of aggregate. This study, aggregates were supplied to two different quarry. Aggregates samples performed to specific gravity tests, unit weight, sieve analysis, water absorption, Los Angeles Abrasion, aggregate impact loss value (AIV), and MgSO₄ Soundness were performed. As Hot mix asphalt pavement tests; Nicholson stripping, Vialit, Indirect tensile, Marshall Stability-Flow and Mechanical Marshall Immersion were performed. Aggregate samples divided into three classes; dusty, average dusty, dustfree at the Marshall-Flow test and were produced six different type marshall-flow tests samples. Test results, layer of dust on the surface of aggregate were observed significantly affected adhesion between to bitumen and aggregate.

2011, page 142

Key Words: Aggregate, Bitumen Binder, Adhesion, Dusty Degree of Agregates.

TEŞEKKÜRLER

Afyon Kocatepe Üniversitesi Yapı Eğitimi Bölümü Anabilim Dalı'nda yapmış olduğum Yüksek Lisans çalışmamda beni bu çalışmaya teşvik eden, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, karşılaştığım sorunlara çözüm üreterek, çalışmalarımın olabildiğince sağlıklı sürmesini sağlayan değerli danışman hocam Doç. Dr. Hüseyin AKBULUT'a teşekkürü bir borç bilirim.

Her zaman benim için örnek teşkil eden ve tezimin her aşamasında takıldığım sorulara birlikte cevap arayan, kaynak temininde olsun ve gerekse tecrübeleri konusunda olsun bana yardımcı olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Cahit GÜRER ve Sayın Araş. Gör. Sedat ÇETİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmamı gerçekleştirdiğim Afyonkarahisar Belediyesi Asfalt Laboratuvarında bana her türlü olanağı sağlayan Şube Müdürü Sayın Güven KAYHAN'a, Asfalt laborantı Ahmet İBA'ya ve tüm asfalt şantiyesi personeline, ayrıca laboratuvar çalışmalarımın her aşamasında deneylerde bana yardımcı olan ve desteğini esirgemeyen arkadaşım Ayfer ELMACI'ya teşekkür ederim.

Ayrıca tezimin yazım aşamasında bana fikirleriyle ve görüşleriyle destek çıkan ve derleme aşamasında büyük sabır ve özveri ile yardım eden Abdullah DEMİRBAŞ, Vedat YEŞİLDAĞ, Mesut GÖK, Oğuzhan YÜCE ve Gökhan CAN'a teşekkür ederim.

Ve hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olarak bana güç ve cesaret veren sevgili anneme ve ablama ve son olarak tez yazımında yanımdan ayrılmayan benim bir tanecik yeğenime teşekkür ederim.

Hasan DOĞAN

Afyonkarahisar, Mayıs 2011

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa No
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜRLER	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
RESİMLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. İzlenen Yol	2
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Kaplama Yapımında Kullanılan Malzemeler	4
1. GİRİŞ	1
1.1. İzlenen Yol	2
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Kaplama Yapımında Kullanılan Malzemeler	4
2.1.1. Agregalar	4
2.1.1.1. Mineralojik Sınıflandırma	5
2.1.1.2. Boyut Sınıflandırması	6
2.1.1.3. Gradasyon Sınıflandırması	6
2.1.1.4. Biçim Sınıflandırması	8
2.1.1.5. Yüzey Yapısı Sınıflandırması	9
2.1.1.6. Porozite Sınıflandırması	10
2.1.1.7. Yüzey Alanı ve Boşluk Sınıflandırması	10
2.1.2. Bitümlü Bağlayıcılar	13
2.2. Literatür Özetleri	14
2.3. Asfalt Kaplamalarda Adezyon	21
2.3.1. Yapışma Teorileri	22
2.3.1.1. Kimyasal Reaksiyon	23
2.3.1.2. Yüzey Enerjisi	23

2.3.1.3. Moleküler Oryantasyon	24
2.3.1.4. Mekanik Adezyon	24
2.3.2. Asfalt Kaplama Su Etkileşimi	25
2.3.2.1. Aktif Adezyon ve Pasif Adezyon	27
2.3.2.1.1. Aktif Adezyon	27
2.3.2.1.2. Pasif Adezyon	28
2.3.3. Asfalt-Agrega Bağının Kimyası	29
2.3.4. Asfalt - Agregada Etkileşimleri	29
2.3.5. Asfalt Bileşimi ve Moleküler Yapısı	30
2.3.6. Agregada Özelliklerinin Adezyon Üzerindeki Etkileri	32
2.3.7. Kirli ve Tozlu Agregalarda Bağ Bozulmasının Genel Mekanizmaları	35
2.3.8. Asfalt-Agregada Etkileşimini Arttırmada Kirli ve Tozlu Agregada Modifikasyonu	37
2.4. Bitüm Kaplamalarda Bozulmalar	37
2.4.1. Agregada Kaybı, Ayrışma ve Parçalanmalar	39
2.4.2. Yüzey Doku Kaybı ve Kasma	41
3. Materyal Ve Metot	43
3.1. Materyal	43
3.1.1. Agregalar	43
3.1.2. Bitüm (AC)	44
3.2. Test Metotları	44
3.2.1. Agreganın Özgöl Ağırlığının Tayini	44
3.2.1.1. İri Agregaların Özgöl Ağırlık Deneyi	44
3.2.1.1.1. Deneyin Önemi	44
3.2.1.1.2. Arşimet Yöntemi	45
3.2.1.2. İnce Agregaların Özgöl Ağırlık Deneyi	48
3.2.1.2.1. DKY Halinin Kesik Huni Yöntemi İle Belirlenmesi	49
3.2.1.2.2. DKY Halinin Kesme Yöntemi İle Belirlenmesi	49
3.2.1.3. Filler Malzemenin Özgöl Ağırlık Deneyi	50
3.2.2. İnce Agreganın Su Emme Kapasitesinin Belirlenmesi	53
3.2.3. İnce ve İri Agregaların Mevcut Nem Durumunun Belirlenmesi	54
3.2.4. Agregalarda Birim Ağırlık Deneyi	55

3.2.4.1. Sıkışık Birim Ağırlık Tayini	55
3.2.4.2. Gevşek Birim Ağırlık Tayini	59
3.2.5. İri Agregaların Aşınma Deneyi	61
3.2.6. Darbelenme Deneyi	65
3.2.7. Donma - Çözünme Deneyi	66
3.2.8. Elek Analizi Deneyi	70
3.2.8.1. Kuramsal Temeller	71
3.2.8.1.1. Yüzey Büyütme	71
3.2.8.1.2. Kırma	71
3.2.8.1.3. Öğütme	72
3.2.8.2. Deneyin Yapılışı	73
3.2.8.2.1. Numunenin Alınması	73
3.2.8.2.2. Eleme İşlemi	74
3.2.8.2.3. Tartma İşİ	75
3.2.9. Tozlandırma Deneyi	76
3.2.10. Penetrasyon Deneyi	78
3.2.11. Su Etkilerine Karşı Dayanıklılık (Soyulma) Deneyi	79
3.2.12. Marshall Deneyi	80
3.2.13. Marshall Stabilite ve Akma Deneyi	85
3.2.14. Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi	88
3.2.15. Vialit Deneyi	89
3.2.16. Mekanik Batırma Deneyi	91
4. BULGULAR	92
4.1. Mineral Agreganın Fiziksel Özellikleri İlgili Deney Sonuçları	92
4.1.1. Özgöl Ağırlık ve Su Emme Deney Sonuçları	92
4.1.2. Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları	93
4.1.3. İri ve İnce Agregalarda Mevcut Nem Durumu	94
4.1.4. Karışımlarda Kullanılacak Agregada Gradasyonu	94
4.1.5. Los Angeles Aşınma Deney Sonuçları	95
4.1.6. Agregada Darbelenme Deney Sonuçları	96
4.1.7. Agregalar İçin Donma-Çözülme ve Donma Çözülme Sonrası Direnç Kaybı Deneyleri Sonuçları	97

4.1.8. Agregalarda Tozlandırma Deney Sonuçları	99
4.2. Bitüm Karışımlarla İlgili Deney Sonuçları	100
4.2.1. Bitüm Özellikleri	100
4.2.2. Marshall Metodu ile Optimum Bitüm Yüzdelerinin Belirlenmesi	101
4.2.3. Soyulma Deney Sonuçları	109
4.2.4. Mekanik Batırma Deney Sonuçları	110
4.2.5. Vialit Yapışma Deneyi Sonuçları	111
5. SONUÇLAR	113
6. KAYNAKLAR	117
ÖZGEÇMİŞ	124

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1.SİMGELER

Cm	Santimetre
Dm	Desimetre
Kg	Kilogram
G	Gram
L	Litre
M	Metre
ml	Mililitre
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
ms	Milisaniye
N	Newton
s	Saniye
°C	Santigrat
µs	Mikrosaniye

2.KISALTMALAR

AC	Asfalt Çimentosu
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
AR	Otoradyografik
ASTM	American Society for Testing And Materials (Amerikan Deney ve Malzeme Kurumu)
AASHTO	Amerikan Devlet Karayolları ve Ulaştırma Birliği İdaresi
A ₁	Yüzde Olarak Aşınma Değeri
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
DKY	Doygun Kuru Yüzey
DSC	Diferansiyel Kalorimetri Tarama
EDS	Enerji Dağılım Spektroskopi

FHWA	Ulusal Karayolları İdaresi
FTIR	Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopi
IGLC	Gaz Sıvı Kromatografi
ITSM	İndirekt Çekme Rijitlik Modülü
K	İnce Malzeme Yüzdesi
Mc	Su Emme Oranı
Ph	Power of Hydrogen (Hidrojen Gücü)
RC-MC	Katbek Asfaltları
RS	Asfalt Emülsiyonları
RT	Yol Katranı
SALI	Lazer İyonlaşma
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SHRP	Stratejik Karayolu Araştırma Programı
S_m	Rijitlik Modülü
TS	Türk Standartları
TSEN	Türk Standartları ve Avrupa Normları
u	Birim Ağırlık
USD	Evrensel Soğurma Cihazı
v	Poisson Oranı
V	Hacim
VMA	Agregalar Arası Boşluk
W_{dyk}	Yüzey Kuruğu Suyu Doygun Ağırlık
W_k	Etüv Kuruğu Ağırlık
W_m	Hava Kuruğu Ağırlık
WRI	Wyoming Batı Araştırma Enstitüsü
ΔS_{LA}	Yüzdece Direnç Kaybı
ΔS_{LA0}	Donma – Çözülme Döngüsü Olmaksızın Deney Numunesi Kısımının Los Angeles Katsayısı
ΔS_{LA1}	Donma – Çözülme Döngüsünden Sonra Deney Numunesi Kısımının Los Angeles Katsayısı
δ	Özgül Ağırlık
δ_d	İri Agreganın Doygun Yüzey Ağırlığı

δ_g

İri Agreganın Görünen Özgül Ağırlığı

δ_k

İri Agreganın Kuru Özgül Ağırlık

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Tez akış şeması.....	3
Şekil 2.1. Agregada aranan özellikler.....	5
Şekil 2.2. Agregada gradasyon tipleri.....	7
Şekil 2.3. Agregada tane biçim sınıflandırılması (2 boyutlu).....	8
Şekil 2.4. Agregada tane biçim sınıflandırılması (3 boyutlu).....	9
Şekil 2.5. Yüzey yapısı sınıflandırılması.....	9
Şekil 2.6. Porozite sınıflandırılması.....	10
Şekil 2.7. Adezyon teorilerinin mikrodalga enerji iyileştirilmesiyle gelişimi(A,B,C).....	25
Şekil 2.8. Agregada türlerinin silis oranları.....	27
Şekil 2.9. Agregada yüzeylerinin kaplanmasına ait aktif adezyon diyagramı.....	28
Şekil 2.10. Agregada yüzeylerinin kaplanmasına ait pasif adezyon diyagramı.....	28
Şekil 2.11. Doygun (alifatik ve dairesel) ve aromatik yapı örnekleri.....	31
Şekil 2.12. Moleküller arası asfalt bağlarının çeşitleri.....	32
Şekil 2.13. Agregada, asfalt ve su arasındaki bağın şematik gösterimi.....	33
Şekil 2.14. Agregaların dayanım ve soyulma üzerindeki etkiler ve uygulanabilecek test yöntemleri.....	34
Şekil 2.15. Yüzeyi toz veya su ile kaplanmış ve kaplanmamış agreganın bitüm ile bağının şematik gösterimi.....	35
Şekil 2.16. Sathi kaplamalarda görülen kasma sonucu oluşan negatif yüzey dokusu (a).pozitif ve negatif yüzey dokuları (b)......	42
Şekil 3.1. Numunelerin alındığı yerleri gösteren yer bul haritası.....	43
Şekil 3.2. Kesme yönteminin şematik gösterimi.....	49
Şekil 3.3. Los Angeles aletinin şematik olarak gösterimi.....	62
Şekil 3.4. Dairesel ve dörtgen çeyreklemeye metodu gösterimi.....	74
Şekil 3.5. Standartlarda verilmiş A16 –B16 eğrisi.....	76
Şekil 3.6. Vialit düşme testi ünitesinin çizimsel gösterimi.....	89
Şekil 4.1. A agregasına ait granülometri eğrisi.....	94
Şekil 4.2. B agregasına ait granülometri eğrisi.....	95
Şekil 4.3. Karşılaştırmalı Los Angeles deney sonuçları.....	96
Şekil 4.4. Karşılaştırmalı darbelenme deney sonuçları.....	97
Şekil 4.5. Agregaların donma-çözülme sonrası LA aşınma direnç kaybı.....	98

Şekil 4.6. A agregası tozluluk durumu deney sonuçları	99
Şekil 4.7. B agregası tozluluk durumu deney sonuçları	99
Şekil 4.8. A ve B agregası ortalama tozluluk durumu deney sonuçları	100
Şekil 4.9. A karışımlarına ait Marshall stabilite – bitüm % ilişkisine ait sonuçlar	102
Şekil 4.10. B karışımlarına ait Marshall stabilite – bitüm % ilişkisine ait sonuçlar	102
Şekil 4.11. A karışımlarına ait pratik özgül ağırlık – bitüm % ilişkisine ait sonuçlar ..	104
Şekil 4.12. B Karışımlarına ait pratik özgül ağırlık – bitüm % ilişkisine ait sonuçlar ..	104
Şekil 4.13. A karışımlarına ait bitümle dolu boşluk % – bitüm % ilişkisine ait sonuçları	105
Şekil 4.14. B karışımlarına ait bitümle dolu boşluk % – bitüm % ilişkisine ait sonuçlar	105
Şekil 4.15. A karışımlarına ait boşluk % – bitüm % ilişkisine ait sonuçlar	106
Şekil 4.16. B karışımlarına ait boşluk % – bitüm % ilişkisine ait sonuçlar	107
Şekil 4.17. A karışımlarına ait akma– bitüm % ilişkisine ait sonuçlar	108
Şekil 4.18. B karışımlarına ait akma– bitüm % ilişkisine ait sonuçlar	108
Şekil 4.19. A karışımlarına ait Vma– bitüm % ilişkisine ait sonuçlar	109
Şekil 4.20. B karışımlarına ait Vma– bitüm % ilişkisine ait sonuçlar	109
Şekil 4.21. Soyulma deneyine ait sonuçlar	110
Şekil 4.22. Mekanik batırma deney sonuçları	111
Şekil 4.23. Vialit yapışma deneyi sonuçları	112

RESİMLER DİZİNİ

Resim 2.1. (A) tozsuz ve (B) tozlu agrega kullanımıyla üretilmiş numunenin boy kesiti	36
Resim 2.2. Bir sathi kaplama yüzeyinde adezyon yetersizliği nedeniyle meydana gelen agrega kopmaları (a) ve yüzeyde meydana gelen ayrışmalar(b).....	40
Resim 2.3. Düşük adezyona bağlı yüzeyden agrega kopması.....	40
Resim 3.1. Arşimet terazisi.....	46
Resim 3.2. Kap içersinde bulunan havanın alımı.....	52
Resim 3.3. Sıkışık birim ağırlık tayini deney yapımı.....	58
Resim 3.4. Gevşek birim ağırlık tayini deney yapımı	60
Resim 3.5. Los Angeles aleti.....	64
Resim 3.6. Agrega darbelenme değeri tayini için deney cihazı	66
Resim 3.7. Agrega donma-çözülme test aleti.....	69
Resim 3.8. Öğütme işleminin gösterimi.....	72
Resim 3.9. Elek analizi için kullanılan elekler.....	75
Resim 3.10. Los Angeles aleti.....	77
Resim 3.11. Tozlandırma yapılmış numuneler	77
Resim 3.12. Penetrometre cihazı.....	78
Resim 3.13. Petri Kabına aktarılmış numuneler	80
Resim 3.14. 1200 gr'lık karışım tartımı, aparat ve karışımların ısıtılması.....	83
Resim 3.15. Çalışmalarda kullanılan ısıtıcılı mekanik asfalt karıştırıcısı ve bir karıştırma işlemi	83
Resim 3.16. Çalışmada marshall deney numunelerini hazırlamak için kullanılan otomatik tokmak.....	84
Resim 3.17. Hidrolik numune çıkarıcı ve su banyosu.....	86
Resim 3.18. Deney numuneleri ve bir marshall deney cihazı.....	87
Resim 3.19. Marshall deneyi sonrası numuneler.....	87
Resim 3.20. Mekanik sericiye yerleştirilmiş ve silindirleme esnasındaki numuneler	91

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Çeşitli ülkelerde kaplama yapımında kullanılan doğal agrega tipleri.....	6
Çizelge 2.2. ABD’ deki farklı eyaletlerde uygulanan kaplama gradasyonları.....	8
Çizelge 2.3. Kullanım amaçlarına göre gerekli agrega özellikleri.....	12
Çizelge 2.4. Türkiye sıcaklık dağılımına göre kullanılacak bitüm sınıfları.....	14
Çizelge 2.5. Numunelerde birim alana düşen adezif bağ enerjisi.....	33
Çizelge 2.6. Bitüm / Agrega bağını etkileyen malzeme özellikleri ve dış etkiler.....	38
Çizelge 3.1. Özgül ağırlık tayini için gerekli deney numunesi miktarları.....	47
Çizelge 3.2. Birim ağırlık tayini deneylerinde kullanılacak ölçü kabı boyutları.....	56
Çizelge 3.3. Birim ağırlık tayini için gerekli deney numunesi miktarları.....	57
Çizelge 3.4. Deney numunelerinin karışım dereceleri.....	63
Çizelge 3.5. Deney numunelerinin karışım dereceleri.....	63
Çizelge 3.6. Donma-çözülme döngü deneyi için gereken deney numunesi miktarları.....	68
Çizelge 3.7. Trafik durumuna göre eşdeğer dingil yükü.....	85
Çizelge 3.8. Marshall metodu ile aşınma tabakası dizayn kriterleri.....	88
Çizelge 3.9. Minimum VMA değerleri.....	89
Çizelge 4.1. Zahiri özgül ağırlık deney sonucu.....	92
Çizelge 4.2. Hacim özgül ağırlık deney sonucu.....	92
Çizelge 4.3. Su emme deney sonucu.....	93
Çizelge 4.4 .Birim hacim ağırlık deney sonuçları.....	93
Çizelge 4.5. İri agregalarda mevcut nem durumu deney sonuçları.....	94
Çizelge 4.6. Agrega numunelerinin donma-çözülme kayıpları.....	98
Çizelge 4.7. AC’ye ait özellikler.....	101

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelere paralel olarak yaşam standartlarının yükselmesi ile insanların güvenli ve konforlu sürüş talebi artmıştır. Günümüz Türkiye'sinde ekonomik kalkınmanın ve refahın gelişmesinde büyük önemi olan karayolu taşımacılığının, ulaştırma sektörü içindeki payı giderek artan bir eğilim göstermektedir. Devlet İstatistik Enstitüsü verilerine göre Türkiye'de karayolu taşımacılığının payı 1970'de yük taşımacılığında %61, yolcu taşımacılığında %91 iken, 2003 yılında yük taşımacılığında %92, yolcu taşımacılığında %95 olmuştur. 1992'den günümüze otomobil sayısı % 154, ağır taşıt sayısı ise % 183 artmıştır (İnt. Kyn. 8). Karayolu taşımacılığının çok önemli bir yeri olan ülkemizde, asfalt kaplamalardan elde edilen performansların da üstün olması gerekmektedir. Bitümlü sıcak karışım kaplamalardan üstün performans elde edilebilmesi için yapım sırasında ve sonrasında bazı hususlara özen gösterilmelidir. Özellikle doğru agrega ve bağlayıcının kullanılması, agreganın temizliği, bileşenlerin oranlarına, karışımın özelliklerine ve dış etkenlere dikkat edilmelidir.

Geçmişten günümüze bitümlü sıcak karışım kaplamalarda yaşanan sorunların başında bitüm ile agrega arasındaki adezyon gelmektedir. Bitüm ile agrega arasında oluşan bu adezyon eksikliği ise kaplama performansını önemli ölçüde etkilemekte ve kaplama üzerinde yüzey doku kaybı, agrega kaybı, kopma ve parçalanma gibi sorunlara yol açmaktadır. Adezyonla ilgili sorunların en önemli nedenleri kaplama yapımında kullanılan agregaların yüzey yapısı, yüzeylerindeki toz tutma kabiliyetleri ve karışım bünyesine giren sulardan kaynaklandığı söylenebilir (Senadheera et. al.,2006;Gürer, 2010). Oluşan bu adezyon eksikliği bağlayıcı malzeme olan bitümün karışım içerisinde bulunan agregalara yapışması yerine agrega yüzeyinde bulunan toza yapışması ve/veya karışım içerisinde bulunan suyun agrega yüzeyine yapışarak bağlayıcı malzemenin agregaya yapışmasını engellemesi sonucunda bitümün yer değiştirmesiyle meydana gelmektedir.

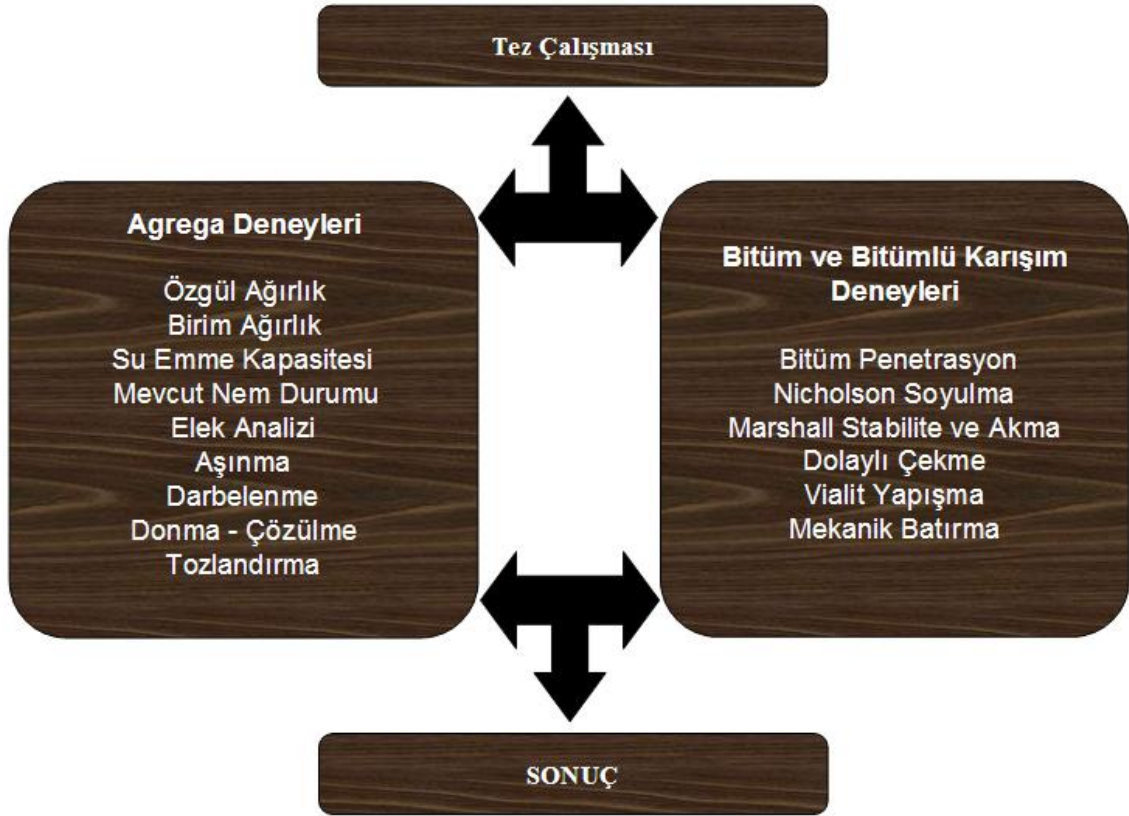
Günümüzde bu hasarları minimum derecede tutmak amacıyla toz kontrolü sağlayan kapalı sistem asfalt plantleri geliştirilmiştir. Plantlerde kullanılan toz kolektörleri hava kirliliğini önlemedeki emisyon limitlerine uyulma noktasında önemli görev üstlenmektedirler. Genellikle 3 tip toz tutucu ünite bulunmaktadır: Sentrifüj etkisinin kullanıldığı kuru ve sulu siklonlar ile tekstil filtrelerin kullanıldığı torba filtrelerdir (Anonim,2011). Agreganın aşırı tozlu olduğu yerlerde kurulan plantlerde bu sistemler seri olarak ardı ardına ikili veya çoklu olarak bağlanabilmektedir. Bu ünitelerden alınan malzeme genellikle filler malzeme olarak tartılıp karışıma geri döndürülmektedir. Böylelikle geri kazanım ve maliyetin düşürülmesi de söz konusu olmaktadır.

Bu tez çalışmasında agregaların tozluluk derecesinin bitümlü sıcak karışımlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla iki farklı agrega türü ve 50 – 70 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı kullanılarak sıcak karışım dizaynı gerçekleştirilmiştir. Kullanılan agregalar ise kendi içlerinde tozsuz, az tozlu ve çok tozlu olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma işleminde temiz agregalar mikro deval yardımıyla 10, 20, 30 ve 40 dakikalık bilyesiz çevirme işlemiyle tozlandırılmıştır. Bu işlemde agregalardaki tozluluk derecesi %0,2’den küçük sonuçlarda tozsuz, %0,2–0,6 arasında az tozlu ve %0,6’dan büyük sonuçlarda ise çok tozlu olarak ifade edilmiştir. İki farklı agrega türü ve üç farklı tozluluk durumu için Marshall yöntemi kullanılarak, 6 farklı aşınma tabakası dizaynı yapılmış ve optimum bitüm oranları belirlenmiştir. Temiz agrega ve tozlu agregalar ile üretilen bitümlü sıcak karışımların mühendislik özellikleri kıyaslandığında, tozlu agregaların her ikisinde de özelliklerin kötüye doğru gitme eğiliminde olduğu bununla birlikte farklı toz içeriğine sahip agregalardan üretilen numuneler arasındaki farkın birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

1.1. İzlenen Yol

Giriş bölümünde çalışmanın amacı ve kapsamı anlatılmış, yol ağının gelişimi hakkında bilgi verilmiş ve kaplamanın performansını etkileyecek faktörlerden bahsedilmiştir. İkinci bölümde konuyla ilgili detaylı bir literatür özeti verilmiştir. Bu kısımda kaplamalarda kullanılabilecek malzemelerin özellikleri, adezyon teorileri ve kaplamalarda adezyondan kaynaklanan bozulmalar hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin nerelerden temin

edildiği, laboratuvar deneylerinde hangi yöntem, teknik ve cihazların kullanıldığına ait bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde laboratuvar elde edilen deneysel bulgulara ait sonuçlar grafiklerle ifade edilmiş, elde edilen bulgular farklı çalışmalarla ve diğer deney sonuçları ile karşılaştırılarak tartışılmıştır. Sonuç bölümünde ise laboratuvar yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar özetlenmiştir. Şekil 1.1’de tez akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Tez akış şeması

2. GENEL BİLGİLER

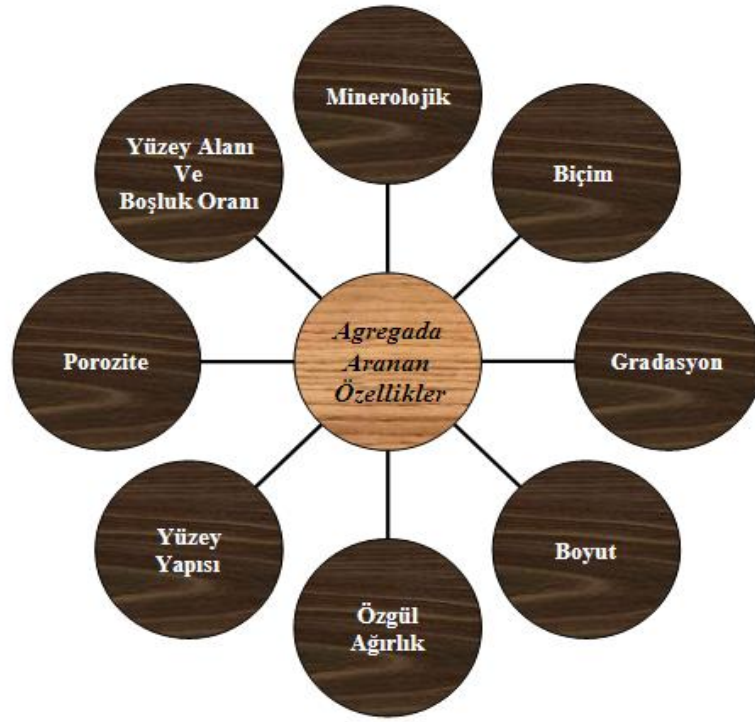
Adezyonla ilgili kaynak özeti dört farklı açıdan ele alınmıştır. Kaynak özeti sırasına göre şu başlıklar altında incelenmiştir:

- Kaplama yapımında kullanılan malzemeler başlığı altında kaplamada kullanılacak agrega ve bitüm bağlayıcılardan bahsedilmiştir.
- İkinci kısımda adezyon hakkında yapılmış olan çalışmalar ile ilgili kaynak özetlerine yer verilmiştir.
- Asfalt kaplamalarda adezyon başlığı altında adezyon teorilerini, yapışma sorunlarının hangi unsurlar altında meydana geldiğini ve tozlu agregalar asfalt üzerindeki etkileri hakkında bilgi verilmiştir.
- Dördüncü kısımda ise bitümlü kaplamalarda bozulmalar başlığı altında adezyondan kaynaklanan hasar ve bozulmalara yer verilmiştir.

2.1. Kaplama Yapımında Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Agregalar

Agrega yol kaplamasının stabilitesinden sorumlu olduğu kadar miktar olarak da önemli bir paya sahiptir. Çünkü bağlayıcısız temel ve alttemel tabakalarının tamamı, bitümlü sıcak karışımların ağırlıkça %90-95'i ve hacimce %80-85'ini, beton (rijit) kaplamaların ağırlıkça %70-80'i ve hacimce %60-75'ini agregalar oluşturur. Hem kaplamanın stabilitesine olan büyük katkısı hem de çok büyük miktarda gereksinim duyulmasından dolayı agrega önemli bir yol malzemesidir. Hacimce ve ağırlıkça bitümlü sıcak karışımın önemli bir kısmını oluşturan agrega malzemesinin temizliği de kaplamanın uzun dönem performansı açısından oldukça önemlidir. Agregada aranan özellikler Şekil 2.1 verilmiştir (Tunç 2007).



Şekil 2.1. Agregada aranan özellikler

2.1.1.1. Minerolojik Sınıflandırma

Agregalar genel olarak;

- Dere malzemesi
- Kırmataş
- Yapay taşlar

olarak elde edilir. Dere malzemesinin (kum-çakıl) sahip olduğu olumsuz özelliklerden (yüzey faktörleri) dolayı alttemel hariç yol kaplamalarında kullanılmazlar. Ancak dere malzemesini konkasörlerde kırmak suretiyle elde edilen kırma çakıl ve kırma kum kaplama yapımında kullanılabilir. Yapay taşlar fazla üretilmediklerinden yol yapımında kullanılmazlar. Yol kaplamalarında kullanılacak en ideal agrega, kayaların kırılması ile elde edilen kırmataş mineral agregalarıdır. Çizelge 2.1’de çeşitli ülkelerde kaplama yapımında kullanılan doğal agrega tipleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Çeşitli ülkelerde kaplama yapımında kullanılan doğal agrega tipleri

Agrega Tipi	US (%)	Avustralya, Yeni Zellanda, UK, Güney Afrika (%)
Kireçtaşı	37	13
Kuvartz	13	38
Granit	35	38
Trap kayacı (volkanik)	13	25
Kumtaşı	10	25
Doğal Çakıl	58	25
Bazalt	4	88

2.1.1.2. Boyut Sınıflandırması

Agregalar aşağıda belirtilen boyutlara göre sınıflandırılır.

- **Kaba Agreg**a : No. 4 (4,76 mm) eleğin üzerinde kalan kısım
- **İnce Agreg**a : No. 4 elekten geçen ve No. 200 elek (0,075 mm) üzerinde kalan kısım
- **Filler** : No. 200 elekten geçen kısım (en az %65'i No. 200 elekten geçen mineral, taştözu veya taş unu) (Tunç 2007).

2.1.1.3. Gradasyon Sınıflandırması

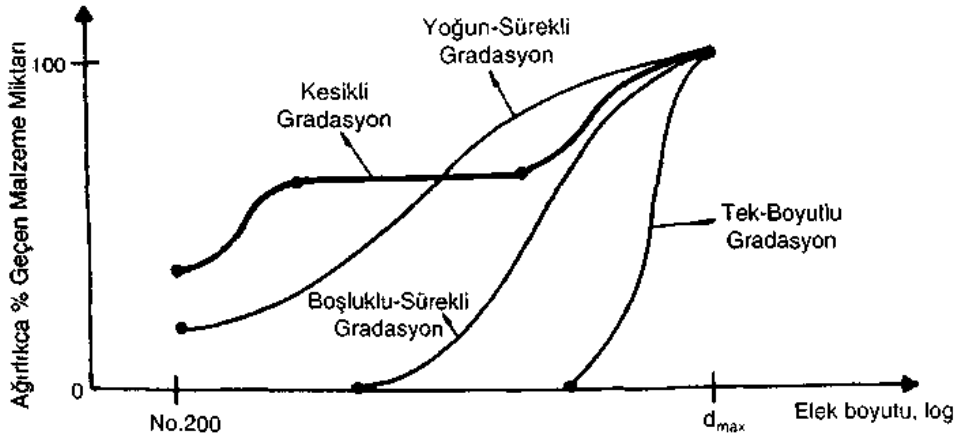
Şartnamelerle belirlenen agrega gradasyonu gerekli kayma sürtünme direncini ve agregaların yüzeye homojen şekilde yayılı yüzey dokusunu sağlayabilmelidir (Gransberg 2005). Genel olarak, karışımındaki maksimum boyut 1"(25,4 mm)'den fazla

ise işlenebilirlik zorlaştıkça yoğunluk ve stabilitesi artmaktadır. Gradasyon agrega harmanını oluşturan tanelerin boyutlarına göre dağılımını ifade eder. Belirli bir karışım için maksimum dane boyutu ve belirli boyuttaki danelerin ağırlıkça miktarlarının belirli limitler dahilinde olması şartnameler ile öngörülür. Ancak maksimum dane boyutu arttıkça işlenebilirlik ve sıkışma zorlaşır, segregasyon artar, boşluk miktarı azalır, agrega danelerinin toplam yüzeyi azalır, yoğunluk ve stabilite artar ve bağlayıcı ihtiyacı azalır.

Agregalar gradasyon yönünden aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

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

Bu gradasyon tipleri, Şekil 2.2'de görüldüğü gibi, elek analiz grafiğinde çizilirse kolayca ayırt edilebilir ve farklı özelliklere sahiptir. Çizelge 2.2'de ABD'deki farklı eyaletlerde uygulanan kaplama gradasyonları verilmiştir.



Şekil 2.2. Agregada gradasyon tipleri

Çizelge 2.2 ABD’ deki farklı eyaletlerde uygulanan kaplama gradasyonları

Elek Boyutu	Alaska	Arizona (Düşük Trafik)	Arizona (Yüksek Trafik)	Minnesota	Montana	Güney Dakota (Tip 1A)	Güney Dakota (Tip 1A)
1/2"	100	100	100	100	-	100	100
3/8 "	90–100	100	70–90	90–100	100	40–70	100
1/4 "		70–90	0–10	40–70	-	-	-
No:4	10–30	1–10	-	0–15	0–30	0–15	10–90
No:8	0–8	0–5	0–5	0–5	0–15	0–5	0–30
No:40	-	-	-	-	-	-	0–4
No:200	0–1	0–1	0–1	0–1	0–2	0–1	-

2.1.1.4. Biçim Sınıflandırması

Agrega tanelerinin biçimleri yol kaplamalarında kullanılan karışımların;

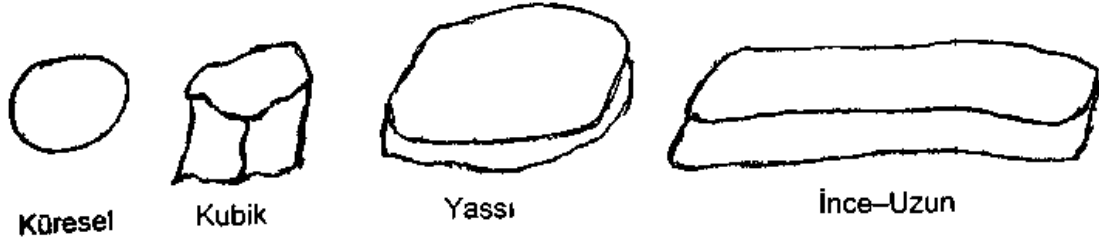
- Sıkışma direnci
- İşlenebilirlik
- Yoğunluk
- Stabilitate
- İçsel kilitlenme (kenetlenme) ve içsel sürtünme açısı
- Kayma mukavemeti ve CBR

özelliklerine etki ederler. Agreg a taneleri biçim olarak Şekil 2.3' de görüldüğü gibi sınıflandırılır.



Şekil 2.3. Agreg a tane biçim sınıflandırılması (2 boyutlu)

Ayrıca agrega tanelerine Şekil 2.3'de görülen iki boyutlu biçim sınıflandırılmasına ilaveten üç boyutlu biçim sınıflandırması da yapılır. Bu tip sınıflandırma Şekil 2.4'te görüldüğü gibi yapılır (Tunç 2007).



Şekil 2.4. Agregatane biçim sınıflandırması (3 boyutlu)

2.1.1.5. Yüzey Yapısı Sınıflandırması

Agregaların yüzey yapısı, tanelerin pürüzlülük veya cilalık durumunu ifade eder. Eğer agrega tanelerinin yüzey pürüzlülüğü fazlaysa işlenebilirlik azalmakta fakat içsel sürtünme açısı, stabilite, kayma mukavemeti ve asfalt ile adezyon kuvveti artmaktadır. Ancak buna karşın agreganın boşluk hacmi, sıkışmaya karşı direnci ve degradasyon gibi olumsuz özellikleri de artmaktadır. Bu nedenle agrega yüzey yapısı agregadan beklenen özelliklere önemli ölçüde etki etmektedir. Yüzey yapısı, Şekil 2.5' de görüldüğü gibi sınıflandırılır.



Şekil 2.5. Yüzey yapısı sınıflandırması

Yüksek kayma mukavemeti, kuvvetli adezyon, yüksek kilitlenme (kenetlenme) özelliğinden ötürü bağlayıcılı veya bağlayıcısız üstyapı tabakalarında çok pürüzlü yüzeylere sahip kırmataş agregaların kullanılması mutlak bir şarttır.

2.1.1.6. Porozite Sınıflandırması

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



Şekil 2.6. Porozite sınıflandırması

Porozite su emme yeteneği (yani suyu absorbe edebilmesi) ile ölçülür. Genel olarak, sıcak bitümlü karışımlarda % 0,5-2,5 ama temel tabakalarında ise don direncinin yüksek olabilmesi için sıfır porozite istenir.

2.1.1.7. Yüzey Alanı ve Boşluk Sınıflandırması

Agrega danelerinin sahip oldukları yüzey alanlarının toplamı ile agrega daneleri arasındaki boşlukların toplamı, bağlayıcısız veya stabilize edilmiş (bağlayıcı) karışımların tüm özelliklerine doğrudan etki eden önemli faktörlerdir. Toplam yüzey alanı ile toplam boşluk hacmi, gradasyon, maksimum dane çapı, dane biçimi, vb. gibi özelliklere bağlıdır. Agregatane çapı küçüldükçe toplam yüzey alanı ve boşluk hacmi önemli ölçüde artar.

Toplam boşluk hacminin ve toplam yüzey alanının artması halinde gerekli bağlayıcı ihtiyacı artmakta ama toplam boşluk hacminin artması halinde karışımın yoğunluğu azalmaktadır. Bu nedenle, agreganın maksimum dane çapı arttıkça her ne kadar işlenebilirlik problemi artsa da karışımın yoğunluğunda artış olacak fakat buna karşın gerekli bağlayıcı miktarı azalarak karışımın kohezyonu, stabilitesi ve durabilitesi azalacaktır. Bu nedenlerden ötürü, esnek üstyapı tabakalarında kullanılacak agregaların maksimum dane çapı karışımın bu özelliklerini optimize edecek şekilde seçilmelidir. Bundan dolayı üst tabakalarda daha ince ama alt tabakalarda daha kaba gradasyonlu agregalar kullanarak karışımdan beklenen özellikler sağlanabilmektedir. Agregalar ile yapılan tüm karışımların (çimento betonu, asfalt betonu veya bağlayıcısız granüler temel tabakası, vb.) stabilitesinin yüksek olması için agrega daneleri arasındaki boşluğun minimum olması gerekir. Bunu sağlamak için agrega gradasyonu sürekli olmalıdır.

Kullanım amaçları için gerekli agrega özelliklerini gösterir bilgiler Çizelge 2.3’de verilmiştir (Tosun,2010).

Çizelge 2.3. Kullanım amaçlarına göre gerekli agrega özellikleri

Fonksiyon	Agrega Özellikleri	Kaplamadaki relatif önemi		
		Beton Kaplama	Asfalt Kaplama	Temel Alttemel Plentmiks
1. Stabilite	1. Kütle stabilitesi	U	Ö	Ö
	2. Dane mukavemeti	Ö	Ö	Ö
	3. Dane rijitliği	Ö	Ö	Ö
	4. Dane yüzeyi	Ö	Ö	Ö
	5. Dane şekli	Ö	Ö	Ö
	6. Gradasyon	Ö	Ö	Ö
	7. Max dane büyüklüğü	Ö	Ö	Ö
2. İklimsel ve kimyasal etkilere karşı direnç	1. Kimyasal etkilere karşı direnç	Ö	ÖB	U
	2. Çözünabilirlik	Ö	Ö	Ö
	3. Su emme	Ö	Ö	Ö
	4. Islanma-kuruma direnci	Ö	ÖB	Ö
	5. Donma-çözülme direnci	Ö	ÖB	Ö
	6. Boşluk yapısı	Ö	Ö	Ö
3. Kırılma direnci	1. Digradasyon direnci	Ö	Ö	Ö
4. İç gerilmelere karşı direnç	1. Hacim değişimi-ısı	Ö	ÖD	ÖD
	2. Hacim değişimi-ıslanma	Ö	ÖD	ÖD
	3. Boşluk yapısı	Ö	ÖD	ÖD
	4. Isıl iletkenlik	Ö	ÖD	ÖB
5. Agreg ve bağlayıcı uygunluğu	1. Kimyasal bileşiklerin reaksiyonu	Ö	Ö	ÖD
	2. Organik madde reaksiyonu	Ö	ÖD	ÖD
	3. Örtme	Ö	Ö	ÖD
	4. Isıl hacim stabilitesi	Ö	ÖD	ÖD
	5. Yüzeysel aktiflik	ÖD	Ö	ÖD
	6. Boşluk yapısı	ÖB	Ö	ÖD
6. Kaplama yüzeyi				
a. Kayma direnci	1. Dane şekli	Ö	Ö	U
	2. Dane yüzey yapısı	Ö	Ö	U
	3. Max dane boyutu	ÖD	Ö	U
	4. Dane mukavemeti	Ö	Ö	U
	5. Aşınma direnci	Ö	Ö	U
	6. Dane şekli	Ö	Ö	U
	7. Boşluk yapısı	Ö	Ö	U
b. Yüzey pürüzlülüğü	1. Max dane boyutu	Ö	Ö	U
	2. Gradasyon	Ö	Ö	U
c. Işık yansıtma	1. Yansıtma	Ö	Ö	U
d. Sökülme	1. Digradasyon direnci	Ö	Ö	U
	2. Özgül ağırlık	ÖD	ÖD	U
e. Lastik aşındırma	1. Dane şekli	Ö	Ö	U
	2. Dane yüzey yapısı	Ö	Ö	U
	3. Max dane boyutu	Ö	Ö	U
f. Sürtünme direnci	1. Max dane boyutu	ÖB	Ö	U
	2. Dane şekli	Ö	Ö	U
g. Teker gürültüsü	1. Max dane boyutu	ÖB	Ö	U
h. Elektrostatik özellik	1. Elektrik iletkenliği	ÖB	Ö	U
i. Görünüm	1. Dane rengi	ÖD	ÖD	U
	2. Oksidasyon ve hidrasyon aktivitesi	Ö	ÖD	U

Ö: Önemli, ÖD: Önemli Değil, U: Uygulanmaz, ÖB: Önemi Bilinmiyor.

2.1.2. Bitümlü Bağlayıcılar

Bitümlü bağlayıcı agregaları satha yapıştıran malzeme olarak görev yapar. İyi bir sathi kaplama yapmak ancak uygun ve yerinde bitümlü malzeme seçimi ile mümkün olur. Bağlayıcılar genellikle katran, katbek veya penetrasyonlu asfalt çimentosu ve bitümlü emülsiyonlardan ibaret olup püskürtülebilmeleri için uygun akıcılığa kadar ısıtılmaları gerekir. Sathi kaplamalar için her bölgenin iklim şartlarına uygun bitümlü bağlayıcı seçilmesi gerekmektedir. Bağlayıcı malzeme seçilirken:

- Bitümlü kaplama yapılacak kentin iklim şartları,
- Tatbik edileceği andaki hava koşulları,
- Rutubet ve rüzgâr durumu,
- Tatbik edilecek yüzeyin durumu,
- Tatbik edilecek agreganın tipi cinsi ve durumu,
- Makine parkı

gibi hususlar göz önünde bulundurulmalıdır (Türkyılmaz, 2007). Genellikle sıcak hava koşulları için: AC 120–150, AC 150–200 asfalt çimentoları veya RT 9 yol katranı veya RC–4, RC–5 ve MC–5 katbek asfaltları soğuk hava koşulları için; RS–1, RS–2 asfalt emülsiyonları kullanılır. Kullanılacak miktar $0,75-1,75 \text{ lt/m}^2$ 'dir (Karaşahin ve Ağar, 2004).

Türkiye'nin sıcaklık dağılımına göre de kullanılacak bitüm sınıfları çizelge 2.4'de verilmektedir (Tosun, 2010).

Çizelge 2.4. Türkiye sıcaklık dağılımına göre kullanılacak bitüm sınıfları

Bitüm Sınıfı		Bitümün Kullanılacağı Yerler
BSK İçin	Sathi Kaplama İçin	
B 40/60 B 50/70	B 70/100	Akdeniz iklimin hüküm sürdüğü kesimler ve Güney Doğu Anadolu'nun güney kesimleri
B 50/70	B 100/150	Karadeniz. Marmara, iç Anadolu. iç Batı Anadolu. Güney Doğu Anadolu'nun Kuzey kesimleri, Doğu Anadolu'nun Batı kesimleri
B 70/100	B 100/150	Yukarıda belirtilen bölgelerin çok soğuk kesimleri ile Doğu Anadolu'nun soğuk ve yüksek kesimleri

2.2. Literatür Özetleri

“Yapışma” kelimesi Latince “yapışmak” anlamına gelen adhaerere’den gelir. “Yapışma” bilimsel bağlamında ASTM D907 tarafından “valans kuvvetler ya da birbirine bağlı kuvvetler tarafından ya da her ikisi ile iki yüzeyin bir arada tutulma durumu” olarak tanımlanmaktadır. “Esas” yapışma ara yüzdeki atomlar arasındaki kuvvetlere atıfta bulunur ve aynı zamanda “doğru” yapışma olarak da adlandırılır. “Uygulamalı” yapıştırma ise gerilim testi gibi tahribat yapışma deneylerinin sonuçlarını açıklamak için kullanılabilen bir terimdir. Kaydedilen parametre ara yüzdeki esas yapışmayı ve yapıştırıcı, substrat ve ara yüz bölgesini mekanik tepkilerini yansıtmaktadır. Bu şekilde yapılan testlerdeki başarısızlık şekli adhesiv (farklı fazlardaki moleküller arasındaki bağların kopması), kohesiv (aynı fazda bulunan moleküller arasındaki bağların kopması) ya da her ikisi de olabilir (Packham, 1992).

Esas yapışmada yer alan esas yüzey kuvvetleri o bölgede yer alan atomların ve moleküllerin genellikle kütlede bulunan birimlerden önemli ölçüde farklı reaktiviteye sahip olmasıyla ilişkilendirilebilir. Kütle fazında, bir birim komşu birimlerle olan

etkileşimi dolayısıyla tek tip bir kuvvet alanıyla karşılaşır. Ancak, bir yüzey kütle fazını bölerek oluşuyorsa, yeni yüzeyde bulunan birimde etkili olan kuvvetler artık tek tip olmaz. Eksik etkileşimler nedeniyle, birimler enerjik olarak istenmeyen bir konumdadır, yani artan toplam serbest sistem enerjisi. Enerjideki bu artış “serbest yüzey enerjisi” ya da daha doğru olarak “fazla serbest yüzey enerjisi” olarak adlandırılır. Dengeyi sağlamak için, sıvıların yüzeyinde bulunan atomlar ya da moleküller, “yüzey gerilimi” olarak adlandırılan yüzeye normal ve yüzey boyunca gerçekleşen lateral bir gerilim şeklinde olan içeriye doğru net pozitif bir çekilme gösterir. Böylece, sıvı su, diğer fazlardan ve yer çekimi kuvvetlerinden serbest kaldığında bir küreye doğru küçülme gösterme eğilimindedir. Bir temas fazı vakum ya da gaz olduğunda, genel olarak “yüzey enerjisi” ya da “yüzey gerilimi” olarak adlandırılır. Denge diğer bir yoğun fazdan gelen atomlar ya da moleküllerle gerçekleşen etkileşimle de sağlanabilir. İki yoğun faz olduğunda, “ara yüz enerjisi” ya da “ara yüz gerilimi” terimleri kullanılır. İki terim sıvılar için birbirinin yerine kullanılabilir ve ölçülü bir şekilde eşdeğerdir ve sayısal olarak eşittir. Katılarda ise, yüzey gerilimi kavramının uygulanması daha az belirgindir ve yüzey “enerjisi” ve yüzey “gerilimi” mutlaka eşit olmaz. Atom ve moleküllerin indirgenmiş mobilitesi gibi katı yüzey özellikleri ve değişken yüzey morfolojisi heterojen “katı yüzey gerilimi” durumuna neden olur. Bu nedenle katı yüzeyler için yüzey geriliminden ziyade yüzey enerjisini kullanmak daha doğrudur (Myers, 2002).

Bitüm ve agrega arasındaki iyi yapışkanlığın iyi sonuç almak için anahtar bir öge olması 1800’lerin sonlarında yapılan ilk bitümle sıkıştırılmış makadam kaldırımları kadar eskidir. Zamanında yol mühendisleri ağızlarında bir parça bitüm çiğneyerek yalnızca kararlılığını değil aynı zamanda yapışkanlığını da test ederdi ve ağızlarına yapışan bitüm testi geçmiş sayılırdı! Literatür bitümün agregayla yapışıp yapışmayacağına ilişkin endişenin bu konuda 1920’lerden beri daha çok araştırmanın yapılmasını sağladığını öne sürüyor. Buradaki yıllardır kapsamlı araştırma yapılmasına neden olan ana endişe bitümlü karışımların içine giren suyun nem hasarı ya da basitçe sıyırma olarak adlandırılan yapışmama durumuna neden olması yönündedir. Bitümlü karışımlardaki yapışma sorununa çözüm bulmak için gösterilen çabalar 1930’lu yılların başlarında “Arayüz Yüzey Gerilimi Komitesi’nin” kurulmasıyla sonuçlanmıştır (Nicholson, 1932). Saville ve Axon (1937) bu konunun çok kapsamlı bir şekilde

araştırıldığını ve sıklıkla tartışıldığını ve bu nedenle de bitüm-agrega yapışmasına ilişkin temel prensiplerin endüstride genel olarak bilindiğini ifade etmiştir. Bu dönemde yapılan araştırmanın en önemli sonucu ise bitüm ve agregası arasında yapıştırma kuvvetlendiricileri olarak kullanılabilecek kimyasal bileşenlerin tanımlanması olmuştur. Sıyırılma olgusu, suyun varlığında agregası ve bitüm arasındaki ara yüz gerilme ilişkisinin bir göstergesi olarak bilinse de, bu niceliksel bir temele dayandırılmamıştır. Kaldırım mühendisleri bitümlü karışımlardaki su hassasiyetini değerlendirmek için kaynar su deneyi (Riedel-ve-Wieber deneyi), yıkama deneyi, şişme deneyi ve son olarak da ıslak-kuru mekanik deneyleri gibi deneyler yapmayı tercih etmiştir (Krchma ve Loomis, 1943).

20. yüzyılın ikinci yarısında gerçekleşen teknolojik ilerlemelerle birlikte, bitüm-agrega ara yüz ilişkilerinin temel olarak anlaşılması konusunda önemli katkılar sağlanmıştır. Faaliyette olan kaldırımlardan elde edilen çekirdeklerden alınan bitüm her gün yapılan bir uygulamadır ve belki de genellikle solvent çıkarımı ile desorpsiyon olarak adlandırılan bitümde (ya da işlevsel gruplarda) bulunan güçlü ya da zayıf olarak emilmiş kimyasal bileşenleri birbirinden ayırmak için kullanılan ilk tekniklerden biridir (Petersen et al. 1974; Scott, 1978). Artan polariteye sahip solventleri kullanarak, her adımda ayrıştırılmış işlevsellik konsantrasyonları kızılötesi spektroskopi ya da ultraviyole spektrofotometri kullanılarak belirlenebilir. Plancher et al. (1977) de bu tekniği bu bileşenlerin su ile agregası yüzeylerinden yer değiştirilmesine karşı hassasiyetlerini izole etmek ve belirlemek için donma çözülme deneyleri ile birlikte kullanmıştır. Bulgularını daha kontrollü bir deney ile geçerli kılmak için genel olarak model bileşenler olarak adlandırılan bitümde bulunan doğal işlevsel grupları temsil eden organik kimyasal bileşenler bulmuşlardır (Petersen and Plancher, 1998). Yapıştırma ve ayırma mekanizmaları üzerine yaptığı çalışmasında Scott (1978), toluen solüsyonlardan emilerek mineral tozlara ve cama katılan bitümü incelemek için de bu tekniği kullanmıştır. Kuvars üzerinde farklı asidik emme alanları solvent çıkarımı ile desorpsiyon kullanılarak Ernstsson ve Larsson (1999) tarafından karakterize edilmiştir.

Petersen et al. (1982) ve Park et al. (2000) *termal desorpsiyon* teknikleri kullanmıştır. Bu çalışmalarda, model bitüm kimyasal bileşenleri toz haline getirilmiş agregalarla ya

da toz haline getirilmiş model agregalarla karıştırılmış, kurutulmuş ve önceden belirlenmiş bir oranda ısıtılmıştır. Bu işlevselliklerin ayrıştırıldığı sıcaklık arttıkça, kimyasal bileşen ve agregası arasındaki bağ kuvveti de artmıştır. Petersen et al. (1982) aynı zamanda bu kaplı agregası parçacıklarının suyla olan önişlemini incelemiş ve neme bağlı hasarın yapısına ilişkin bazı temel bilgiler elde etmiştir (Petersen ve Plancher, 1998).

Barbour et al. (1974) bitüm-agregası etkileşimlerini incelemek için *ters gaz-sıvı* kromatografisi (IGLC) uygulamıştır. Bir desteğin bitüm kaplı olması gibi, bilinmeyen bir maddeyle kaplanmış bir kolon ile ayrıştırma yapmak için belli polariteye sahip bir gaz durumunda bir test bileşeni için geçen süre bu etkileşimlerin ne kadar kuvvetli olduğunun bir göstergesidir. O zaman, normal hale getirilmiş etkileşim katsayılarını hesaplamak için işlem görme süreleri kullanılabilir. İnert desteklerinin ve aynı zamanda agregası parçacıklarının üzerine kaplanmış farklı bitüm fraksiyonlarının katsayıları kompleks sistemin net polaritesine ulaşmak için kullanılmış ve böylece agregası parçalı bitüm fraksiyonlarının niceliksel değerlendirmesine olanak sağlanmıştır.

Stratejik Karayolu Araştırma Programı (SHRP) sırasında, temelde sıvı kromatografisinin değiştirilmiş bir formu olan solvent tükenmesiyle adsorpsiyon bitüm-agregası etkileşimleri hakkında yapılan araştırma için kabul edilen temel tekniktir. Bu deneylerde, agregası parçacıkları bitüm ya da bitüm modeli bileşenlerinin oluşturduğu bir konsantrasyonu içeren bir solüsyona maruz kalır. Daha sonra, solüsyon kimyasal işlevselliği ve emilen miktarı belirlemek için analiz edilir. Verilen sabit sıcaklıkta farklı başlangıç konsantrasyonlarında emilen miktar olan adsorpsiyon izotermi genellikle önemli termodinamik parametreler elde etmek için kullanılan veriden sağlanır (Jeon ve Curtis, 1990; Curtis et al., 1991). Sisteme suyun girmesi ve daha önceden emilen türlerin desorpsiyonun izlenmesi de gerçekleştirilmiştir. SHRP araştırması boyunca, Curtis ve çalışma arkadaşları adsorpsiyon/desadsorpsiyon çalışmalarından elde edilen net-adsorpsiyon testini geliştirmiştir (Curtis et al., 1989; Curtis, 1992; Curtis et al., 1992). İsveç'te bulunan Yüzey Kimyası Enstitüsü'nde yapılan çalışmada agregaların ve bitüm modeli bileşenli minerallerin etkileşimini incelemek için benzer teknikler kullanılmıştır (Ardebrant ve Pugh, 1991a). Park et al. (2000) solüsyon tükenme

adsorpsiyon izotermelerini kullanarak silisöz model bir agregat substratı için çeşitli bitüm modeli işlevlerinin göreceli bağlantısını incelemiştir.

Sorpsiyon ısılarını doğrudan ölçmek için mikrokaleorimetri kullanılır. Temelde, agregalar bitümle temas geçirilir ve etkileşim süresince açığa çıkan enerji hassas mikrokaleorimetri ile ölçülür. Bu teknik bitüm-agrega etkileşimini karakterize etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Ensley ve Sholz, 1972; Ensley, 1973; Ensley et al., 1984; Podoll ve Irwin, 1990). Ernstsson ve Larson (1991) çalışmalarında kuvarstaki asidik adsorpsiyon alanlarını tanımlamak için bu tekniği kullanmıştır.

Katrab-su ara yüzü ve ara yüz faaliyetindeki pH etkisi Scott (1978) tarafından elektroforez kullanılarak incelenmiştir. Labib (1992) seçilen agregat ve bitüm tipleri için zeta potansiyel – pH eğrileri geliştirmek için elektroforezleri kullanmıştır. Zeta potansiyel ya da elektrokinetik potansiyel, sulu bir parçacık (sabit sıvı) ile kütle solüsyonu (hareketli sıvı) arasındaki ara yüz boyunca var olan elektrik potansiyelidir, yani ara yüzdeki stabilite ölçümüdür. Ayrıca, bu nicelik, bir agregat yüzeyi ile temas halinde olan suyun pH'ı değiştiği için önemli olan sistem pH'ındaki değişikliklere karşı hassastır (Scott, 1978; Labib, 1992).

Ross et al. (1991) ve Podoll ve Becker (1991) bitüm-agrega arayüzündeki etkileşimleri ve çeperin etrafındaki bölgeyi incelemek için çeşitli modern yüzey analiz teknikleri kullanmıştır. Bu araştırmada, bitüm kaplı agregat soğutulmuş ve saha sonra etkileşim çevresi etkisine bırakılmak üzere kesilmiştir. Çeper bölgelerde yoğunlaşan bitümdeki özel bileşenlerin konsantrasyonlarını belirlemek için bir otoradyografik (AR) işlemi kullanılmıştır. Daha sonra bu bölgeleri yakından incelemek ve kimyasal elementlerinin haritasını çıkarmak için tarama elektron mikroskopisi (SEM) ve enerji dağılımlı izgeölçümü (EDS) kullanılmıştır. Ayrıca, bu grup tarafından bitüm ve agregat yüzeylerinden sıyrılmış su üzerinde lazer iyonizasyonu ile yüzey analizi (SALI) kullanılarak elde edilen kütle spektrasının elemental analizi yapılmıştır. Suyu indüklenen kusur süresince agregada olan koheziv kusurun önemi de elde edilen temel bulgulardan biri olmuştur (Podoll et al., 1991).

Petersen (1986) tarafından da tarif edildiği gibi Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) bitümde bulunan farklı işlevsel gruplarındaki değerli bir araç olmuştur, örneğin solvent çıkarımı sırasında ya da solvent tükenmesi deneyleri sırasında. Kısmen şeffaf topraklara sıkıştırılan agrega tozlarındaki bitüm hakkında yapılan sahada kızılötesi spektroskopi çalışmaları da yapılmıştır. Ancak, Scott (1978) spektrumların yorumlamak için zor olduğunu rapor etmiştir. Batı Wyoming'de bulunan Batı Araştırma Enstitüsü (WRI), bitüm-agrega ara yüzünde polar grupların bir arayüz bölgesi oluşturduğuna dayanan hipotezi araştırmak için Hafifletilmiş Toplam Yansıtma'yı FTIRA kullanmıştır. Bu araştırma karboksiklik asitlerin zamanla kristal-bitüm ara yüzüne geçtiğini doğrulamıştır (WRI, 2001).

Federal Karayolu İdaresi (FHWA) sözleşmesinin büyük bir kısmı olan WRI bitüm-agrega yapışması üzerine temel bir çalışma yapmıştır. *Atomik kuvvet mikroskopisi (AFM)* küçük uçlu ve birkaç yüz mikron uzunluğa sahip konsollu bir substratın üzerinde temel yapışma kuvvetlerini ölçer. Bitüm üzerindeki yüzey enerjileri ve sürtünme kuvvetleri AFM kullanılarak ölçülmüştür. Araştırmacılar aynı zamanda bitüm ve mastiğin ısı akış özelliklerinin bulunmasında *diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC)* kullanımını araştırmıştır. DSC deneylerinde, küçük bir numune önceden belirlenmiş bir oranda ısıtılır ve soğutulur ve numuneden ya da numuneye ekzotermik ya da endotermik ısı akışları ölçülür. Araştırmacılar etkileşim ölçüleri olarak cam geçiş sıcaklığı parametreleri kullanmıştır. Cam geçiş sıcaklığı, soğutulduktan sonra moleküler mobilitenin keskin bir şekilde bir sıvıdan camsı duruma düştüğü durumdaki sıcaklıktır. Buna göre, mastik agrega bitüme eklendiğinde güçlü bir etkileşim olursa, kütle ya da bitümün etkileşime girmeyen kısmı orijinalinden daha farklı cam geçişi özelliklerine sahip olur. Bu çalışmanın başka bir bölümündeki yüksek hızlı bir nükleer manyetik rezonans (NMR) numune çevirici, santrifüj ile kolaylaştırılan agrega yüzeylerine tamamen yapışan bitüm elemanlarını izole etmek için hızlı bir alternatif olarak önerilmiştir. NMR görüntüleme de mümkündür ve numunelerdeki akışkan madde dağılımını sağlamak için manyetik rezonansın temel prensipleri ile uzamsal kodlamayı birleştirir. Bu yaklaşım temas açıları ve yüzey gerilimleri gibi bitüm-su ara yüz parametrelerini elde etmek için kullanılmıştır (WRI, 2003a).

Yukarıda verilen ilk yapılan temel araştırmaların arka planı yüzey geriliminin bitüm karışımlarındaki yapışkanlığı açıklığa kavuşturmak için önemli bir parametre olarak düşünüldüğünü ortaya çıkarmaktadır. Sıvıların yüzey gerilimini ölçmek için birçok yöntem mevcuttur, ancak katıların “yüzey gerilimini” belirlemek için kullanılan yöntemler çok yaygın değildir. Bu yöntemler Adamson ve Gast (1997) gibi klasik metinlerde detaylı olarak açıklanmıştır. Yapışma bilimindeki yüzey enerjisi uygulamasına yönelik ilgi, Fowkes (1964) yüzey enerjisinin bağımsız bileşenlere bölünebileceğini ve bunun da polar ve dağılımlı bileşenler olarak yüzeyde farklı intermoleküler kuvvetleri göstereceğini söylediğinde doğmuştur. Ardebrant ve Pugh (1991b), birbirine karışmayan iki hidrokarbon sıvısının birleştirilmesiyle oluşturulan bir açılma teleskop ile cilalı agrega yüzeylerindeki su damlalarının temas açılarını ölçmüştür. Su ve agregalar arasındaki polar türlerin yapışmasını hesaplamak için iki bileşenli bir teori kullanmışlardır. Van Oss et al. (1988) asit-baz teorisinin değiştirilmiş bir şekline dayanan üç bileşenli bir teori geliştirmiştir. Bu teoride, toplam yüzey enerjisi bir asit, baz ve bir apolar ya da dağılımlı (ayrıca Lifshitz-van der Waals) bir bileşen oluşturmaktadır. Elphinstone (1997), Wilhelmy plaka yöntemini kullanarak farklı bitüm tiplerinde sıvıların temas açılarını bulmuştur. Li (1997), yol yapım agregalarına karıştırıldığında ve bu parametreler yüzey enerjisini hesaplamak için kullanıldığında farklı polariteleri olan üç organik çözünenin denge yayma basınçlarını belirlemek için bir gaz sorpsiyon tekniği kullanmıştır. Cheng et al (2002) sırasıyla bitümün ve agregaların yüzey enerji bileşenlerini belirlemek için hem Wilhelmy plaka yöntemini hem de bir vakum sorpsiyonu ya da evrensel sorpsiyon cihazını (*USD*) kullanmıştır. Yüzey enerji bileşenlerini kullanmanın önemi bu değerlerin bilindiği herhangi bir bitüm ve agrega kombinasyonu için yapışmanın tahmin edilmesinde yatar. Su gibi üçüncü bir ortamın varlığında da yapışma işi öngörülebilir (Elphinstone, 1997; Cheng et al., 2002). Ayrıca, yüzey enerjisi ve bileşenleri temel olarak kırılma hasarıyla ve bitüm yol kaplama karışımlarındaki tekrarlanan tekerlek yükleriyle indüklenen onarma olgusuyla ilişkilidir (Hefer, A. and Little, D., 2005).

Louw vd.’ne (2004) göre sathi kaplama bitüm numunelerinin düşük sıcaklık performanslarının uygunluğunu belirlemek için değişik sıcaklıklarda ve değişik bitüm numunelerinde farklı serilerde detaylı Vialit yapışma deneyleri gerçekleştirmiştir. Söz

konusu deney ile Asfalt Akademisi Teknik şartnamesinde belirtilen şartname limitlerine ulaşamamışlardır. Yapışma bozulmaları genellikle deney plakası ve bitüm filmi arasında meydana gelmiş, dolayısıyla plaka yüzeyi agreganın yüzeyle olan adezyonunu geliştirecek şekilde modifiye edilmiştir. Çalışmada üç seri deney gerçekleştirilmiştir. Deneylerde yüzeyi pürüzlendirilmiş ve düz olan Vialit plakaları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar normal plaka ile yapılmış deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Louw vd. çalışma sonucunda şu bulgulara ulaşmışlardır: Agregaların önceden bitüme bulanmalarıyla agregaların yüzeyle olan adezyonlarının geliştiği, aynı zamanda geleneksel ve modifiye bitümler arasında belirgin farklar olduğunu ve Vialit yapışma deneyindeki yapışma sonuçlarının deney plakasının bir fonksiyonu olduğu, plaka yüzeyinin pürüzlendirilmek suretiyle agregaların fiziksel adezyonlarının geliştiği, vialit deney yönteminin polimer ile modifiye edilmiş bitümlerin performanslarının değerlendirilmesi bakımından uygun olmadığı belirtilmiştir.

Senadheera vd.'ne (2006) göre, yol yüzeyinden agrega kaybına yol açarak sathi kaplamanın performansına etkiyen önemli problemlerden birisi de tozdur. Agregada, özellikle kireçtaşı kökenli kırmataş ve hafif agregalarda, ocakta üretilirken yıkanmasına rağmen önemli miktarda toz da taşıma ve agregaların işlenmesi sırasında açığa çıkar. Senadheera vd. tozun agrega ve bitüm arasındaki yapışma özelliklerine olan etkisini araştırmak için tozsuz, orta tozlu ve yüksek oranda tozlu üç farklı toz oranında olmak üzere sathi kaplama numunesi hazırlamışlardır. Deneyde agregaların işlenmesi sırasında açığa çıkan tozun oluşumu gözlenmiştir. Bunun için mikro deval deney cihazı içerisindeki çelik bilyeleri çıkartılmak suretiyle kullanılmıştır(Gürer,2010).

2.3. Asfalt Kaplamalarda Adezyon

Tüm asfalt kaplamalar temel olarak iki ana bileşeni olan agrega ve bitümden oluşurlar. Genellikle kaplamanın % 4-7'sini oluşturan bitüm, agrega iskeletinin arasında yeterli iç yapışmayı sağlayan bir bağlayıcı olarak hareket etmektedir. Dolayısıyla bitüm, agrega yüzeyinde güçlü bir bağa (yapışmaya) sahip olduğundan hayati önem taşımaktadır (Akzonobel,2010).

Bitüm ve agrega arasındaki adezyon bir yüzeysel etkileşim olayıdır. Bu olay, iki ayrı malzeme arasındaki yakın temasa ve karşılıklı yüzey etkileşimine bağlıdır (Upeks,2010).

Yol kaplamalarının yapımında hammadde seçimi, yol yapısındaki dayanım ve adezyon üzerindeki parametreler kaplama üzerinde oldukça etkilidir. Normal kaplama yapımında nem hasarına hassas olan parametreler;

- Agreganın özünde yapışma özelliğinin düşük olması,
- Bitümün yapışma özelliğinin düşük olması,
- Bitüm ve agreganın uyumsuz kombinasyonları,
- Karışım tasarımında düşük bağlayıcı,
- İnce bitüm filmi,
- Yetersiz sıkıştırma sonucunda kaplama üzerinde derin çukur oluşumu,
- Yetersiz yeraltı drenajı,
- Agregada kil içeriğinin yüksek olması ve yüzeyin tozlu olması,
- Agregaların tam olarak kuru olmaması,
- Karışımın ayrışması,
- Higroskopik katkıların bulunması

olarak sıralandırılabilir (Akzonobel, 2010).

2.3.1. Yapışma Teorileri

Yapışmanın teorileri, yapışmanın etkisinin gözlemlendiği;

- Asfalt çimento ve agreganın yüzey gerilimi,
- Asfalt ve agreganın kimyasal bileşimi,
- Asfalt viskozitesi,
- Toplam yüzey dokusu,
- Toplam porozite,
- Toplam temizlik,

- Agregada nem içeriği ve asfalt imento karıştırmada sırasında sıcaklık

faktörleri etrafında gelişmiştir. Tek bir teori yapışma teorisini tamamen açıklayamaz. Büyük olasılıkla iki veya daha fazla mekanizma, bir karışımada aynı anda meydana geldiği zaman yapışma kaybına neden olur. Geliştirilmiş olan bu teoriler;

- Kimyasal reaksiyon
- Yüzey enerjisi
- Moleküler oryantasyon
- Mekanik adezyon

olmak üzere sınıflandırılmıştır (Terrel and Shute, 1989).

2.3.1.1. Kimyasal Reaksiyon

Kimyasal reaksiyon asfalt imento ve agregada yüzeyler arasındaki yapışma için olası bir mekanizma olarak kabul edilmektedir. Kimyasal bir yapışma formu, bir asfalt agregada karışımının sıyırmaya direnmesini sağlar (Williams,2010). Pek çok araştırmacı iyi bir tutunmanın asidik agregada yerine bazik agregada ile var olabileceğini tespit etmişlerdir (Terrel and Swailmi, 1989).

2.3.1.2. Yüzey Enerjisi

Yüzey enerji teorisi agregada yüzeylerinin asfalt ve su ile göreceli ıslanabilirliğini açıklamak, diğer bir değişle asfalt veya suyun agregada parçacıklarını ne kadar iyi kavradığını tanımlayabilmek amacıyla kullanılır. Su, asfalttan daha iyi bir ıslatma aracıdır, çünkü su düşük bir viskozite ve düşük yüzey gerilimine sahiptir. Asfalt agregayı kapladığı zaman, yapışma gerilimi olarak adlandırılan, asfalt imentosu ve agreganın karşılıklı ilişkisi ile alakalı bir enerji değişimi oluşur (Terrel and Swailmi, 1989).

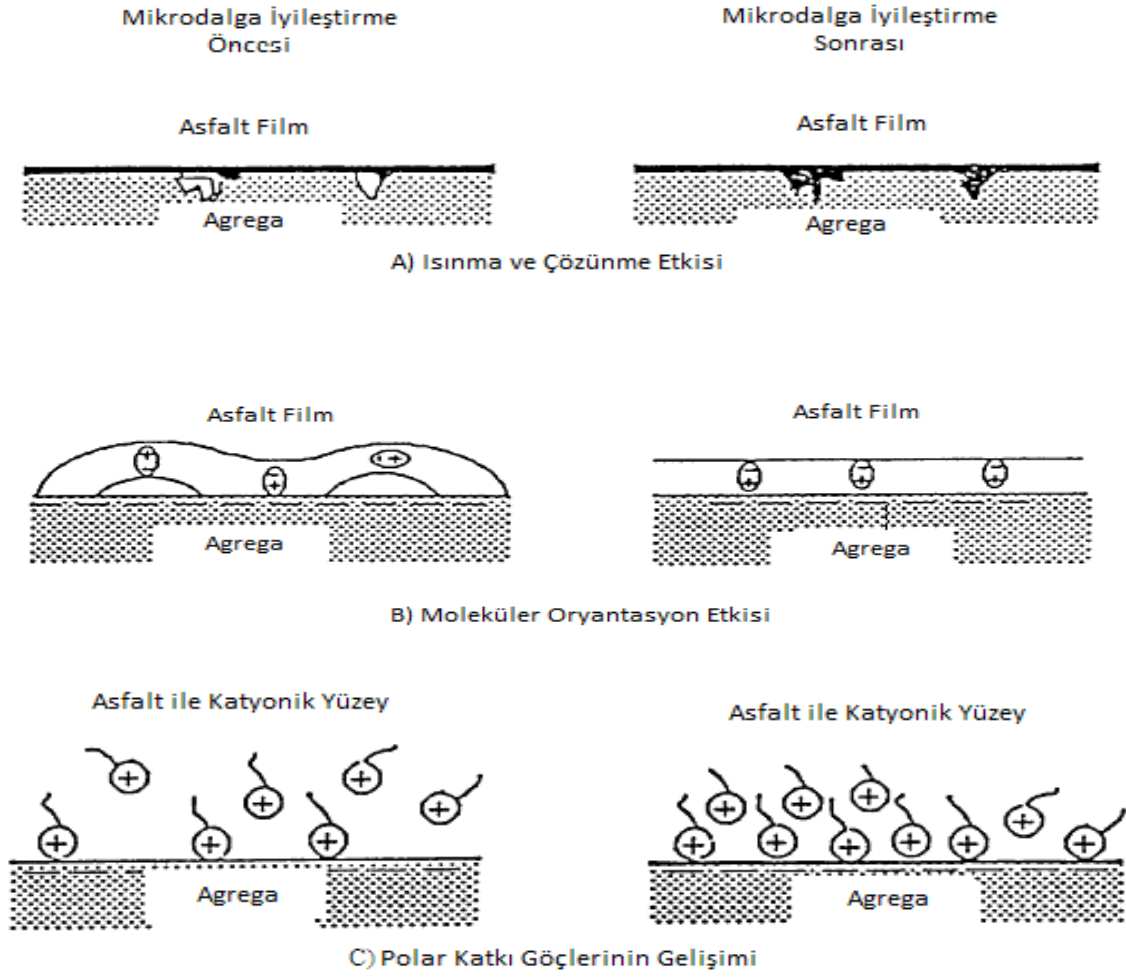
2.3.1.3. Moleküler Oryantasyon

Moleküler oryantasyon teorisi agrega yüzeyindeki tatminsiz elektrik yüklerinin, asfalt molekülleri ile kendilerini uyumlaştırmasını önerir. Sadece asfalttaki bazı moleküller dipolardır, ancak su tamamen dipolardır ve bu fark agrega yüzeyinde asfalt yerine su tercih edilmesinin açıklanmasında yardımcı olabilir (Terrel and Swailmi, 1989).

2.3.1.4. Mekanik Adezyon

Mekanik yapışma, yüzey dokusu, porozite, emilme, yüzey kaplaması yüzey alanı ve parçacık boyutu gibi çeşitli agrega fiziksel özelliklerinin bir fonksiyonudur. Genel anlamda, gözenekli yapıya sahip kaba agrega ve asfalt arasında güçlü bir kenetlenme sağlar (Williams,2010).

Bütün bu mekanizmalar asfalt – agrega sisteminde bir ölçüde çıkabilir. Şekil 2.7’de Al-Ohaly ve Terrel’in (1989) mikrodalga etkisi üzerine yapmış olduğu araştırmaların bir parçası olan çeşitli mekanizmalar gösterilmiştir. Yapılmış olan bu çalışmada mikrodalga ısıtma etkilerinin mekanik kilit, moleküler oryantasyon ve kutuplaşma gibi özellikler üzerinde iyileştirme yapıldığı görülmektedir (Terrel and Swailmi, 1989).



Şekil 2.7. Adezyon teorilerinin mikrodalga enerji iyileştirilmesiyle gelişimi(A,B,C)

2.3.2. Asfalt Kaplama Su Etkileşimi

Asfaltın tamamen geçirimsiz olduğunu düşünebilir fakat suyun çeşitli yollarla kaplama yapılarına girebildiği tespit edilmiştir ve bunlar;

- Kaplama üstünde oluşan gözenek ve çatlaklarda boydan boya sızan yağış,
- Zeminde daha yüksek seviyedeki bir yeraltı suyunun hidrostatik yönlenmesi,
- Kapiler hareket sayesinde alt tabakadan suyun yükselmesi,
- Trafikte lastiğin kaplama yüzeyine uyguladığı kuvvette lastik ön yüzeyinde, itme gücü sayesinde yüzey içine su basılması ve ardından arka yüzeyinde, emme

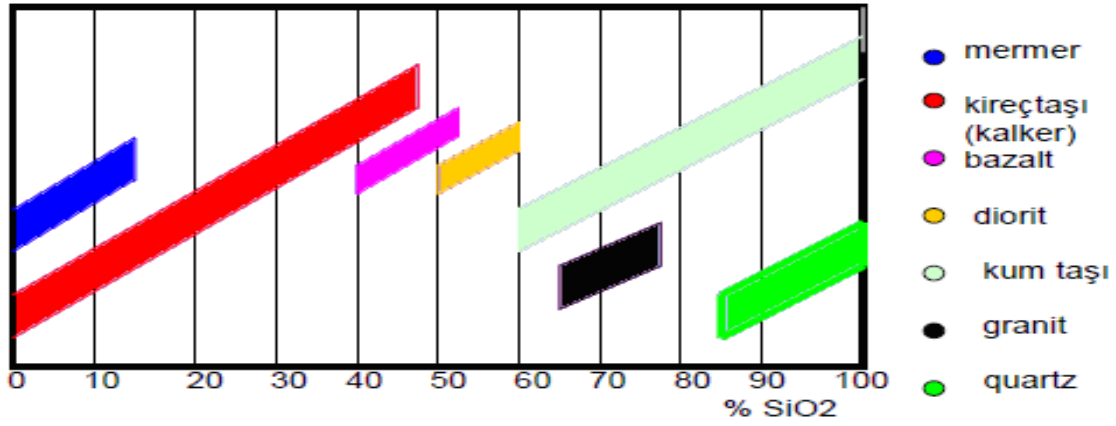
gücü sayesinde bunun çekmesiyle kaplamada su pompalanmasına öncülük etmesi,

- Tuzların varlığı olarak açıklanmıştır.

Temel anlamda bitüm yağlı bir malzemedir ve bu nedenle çok hidrofobiktir. Bu da bitüm malzemesinin su yalıtımı özelliğine sahip olduğunu gösterir. Bu sonuç ise bize çoğu agreganın hidrofobik yüzeyinin yapışma bakımından uygun olmadığını göstermektedir. Dolayısıyla doğal olarak hidrofilik agrega malzemesi, normal şartlar altında bitümden daha fazla suya yakınlık duyar. Bu aşamada bitüm ıslak bir yüzeye yapışamayacak ve zamanla su tarafından yer değiştirecektir. Bu etkenler altında, yapılacak uygulamada bitüm ve agrega arasındaki yapışma, bileşenlerinin kimyasal yapılarına ve bu nedenle bitüm ve agrega tipi kaynağına bağlıdır.

Agregalar bazik ve asidik olmak üzere iki grupta incelenebilir. Bazik tipler kireç taşı ve mermer, asidik tipler quartz ve granit ihtiva ederler. Bunu daha da basitleştirecek olursak bütün agregalar alkalın ve asit mineralleri ihtiva eder. Asidik şekilde olan agregalar negatif yükle yükleme eğilimindeyken bazik şekilde olan agregalar pozitif yükle yüklenme eğilimindedirler. Asidik agregalar yüksek silis içerirken bazik agregalar ise karbonhidrat içerirler (Akzonobel,2010).

Agreganın adezyon üzerindeki etkisi için önemli bir özellik de içerisindeki silis maddeleridir. Silisli agregalar normalde cilalanma özelliğine sahip olmakla birlikte başka dezavantajları da vardır. Asidik yapılarından dolayı bitümdeki naftenik asit tepkisine cevap vermezler. Bu nedenle silisli agrega ile bitüm arasında iyi bir bağ kurmak oldukça zordur (Upeks,2010). Aşağıda Şekil 2.8’de genel agrega türlerinin silis oranları gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Agregat türlerinin silis oranları

2.3.2.1. Aktif Adezyon ve Pasif Adezyon

Yüzeyde yapışmanın iki görünüşü vardır. Bunlar;

- Aktif adezyon
- Pasif adezyon

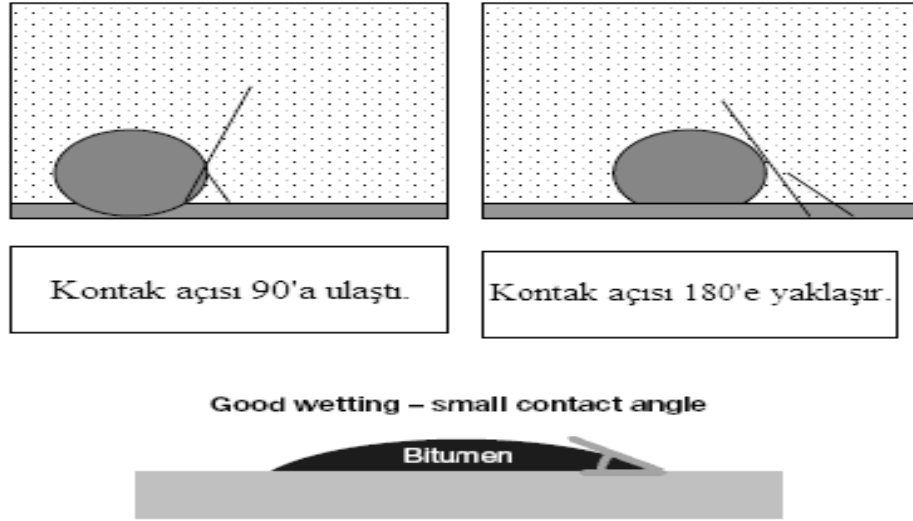
olarak sınıflandırılırlar.

2.3.2.1.1. Aktif Adezyon

Agrega ve bitüm arasındaki su varlığı, güçlü kimyasal bağların oluşumunda, kaplamasında ve kalıcılığında etkilidir. Agreganın bitüm ile kaplanmasında, çoğu zaman nemli ve ıslak yüzeylerin tedavisi imkânsızdır. Bitümün agregat yüzeylerine yakınlığı sudan daha azdır. Bitümün yeteneğiyle agregat yüzeydeki suyun yerini alması ve agregalardaki adeziv yapışmanın sağlanması aktif adezyon olarak tanımlanır.

Aktif yapışma eksikliği, karışımların kaplanmamış yüzeyleri ve erkenden yüzey örtüsünden gelen ufalanma kaybının varlığı ile tanınabilir. Ancak agregalar görünüşe göre bitümle iyi kaplanmış olsa bile, bir toz veya su tabakası agregat ile bitüm arasındaki yakın ilişkiyi ve yapışkan bağın kurulmasını engelleyebilir. Aşağıda Şekil 2.9'da

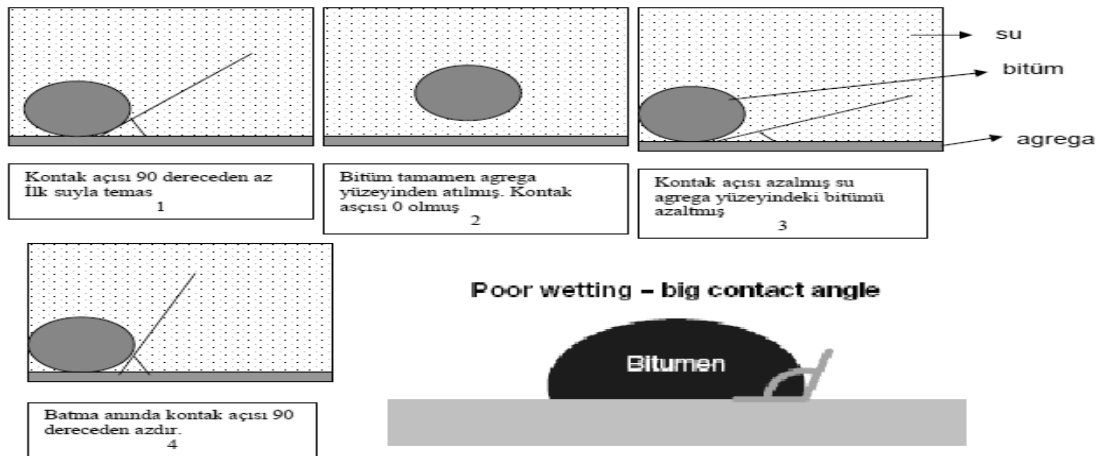
bitümün suyun yerini alarak agregaya yüzeylerinin kaplanmasına ait aktif adezyon diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.9. Agregaya yüzeylerinin kaplanmasına ait aktif adezyon diyagramı

2.3.2.1.2. Pasif Adezyon

Eğer bitümünün ıslak agregayı kaplayacak gücü yoksa fakat kuru agregayı kaplıyorsa temas açıları (suya daldırıldığında) değişmeyecektir. Bu tür yapışma ise pasif adezyon olarak tanımlanır. Aşağıda Şekil 2.10'da bitümün suyun yerini alarak agregaya yüzeylerinin kaplanmasına ait pasif adezyon diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.10. Agregaya yüzeylerinin kaplanmasına ait pasif adezyon diyagramı

2.3.3. Asfalt-Agrega Bağının Kimyası

Asfalt agrega etkileşimleri asfaltın agregaya yapışmasında önemlidir çünkü asfaltın adeziv bağlayıcı etkisinin ortaya çıkabilmesi için asfaltın ilk tabakasının agregaya iyi yapışması gerekmektedir. Fiziksel görünüşün yeniden ifade edilmesi asfalt ve agrega arasındaki etkileşiminin karmaşıklığın görselleştirilmesine yardımcı olur. Bir karışımda agregaya göre asfaltın oranı ağırlıkça %5 ila 6 asfalt ve ağırlıkça % 94 ila 95 agregadır. Bu yüzden karışımda agrega ağırlığı yüksek olduğu kadar yoğunluğu da asfalttan daha büyüktür. Yol kaplaması için kullanılan agregalar genellikle bölgesel kaynaklardan elde edilir. Sonuç olarak, yüzey kimyası, morfolojisi, yüzey alanı, porozite dağılımı ve gevreklik gibi bileşim terimlerinde büyük değişkenlik gösterirler. Bağlanmanın meydana gelebilmesi için, asfalt agregaya temas ettiği zaman, aktif ve aktif olmayan bölgelerin türüne göre etkileşim oluşur. Orta ve daha büyük boyutlu agregalarda aynı zamanda kaplanır ve karışımın dayanımı sağlanır. Asfaltın agregaya direk olarak temas etmesi önemlidir, çünkü asfalt agrega yüzeyine yapışmalı ve farklı çevresel koşullar altında yapışma özelliğini kaybetmemelidir. Ayrıca ara kısımlardaki asfalt değişik boyutlardaki parçacıkları birbirine bağlayarak karışımın bütünlüğünü sağlayan temel yapıstırıcı vazifesi görür (Yüce,2008).

2.3.4. Asfalt - Agreg Etkileşimleri

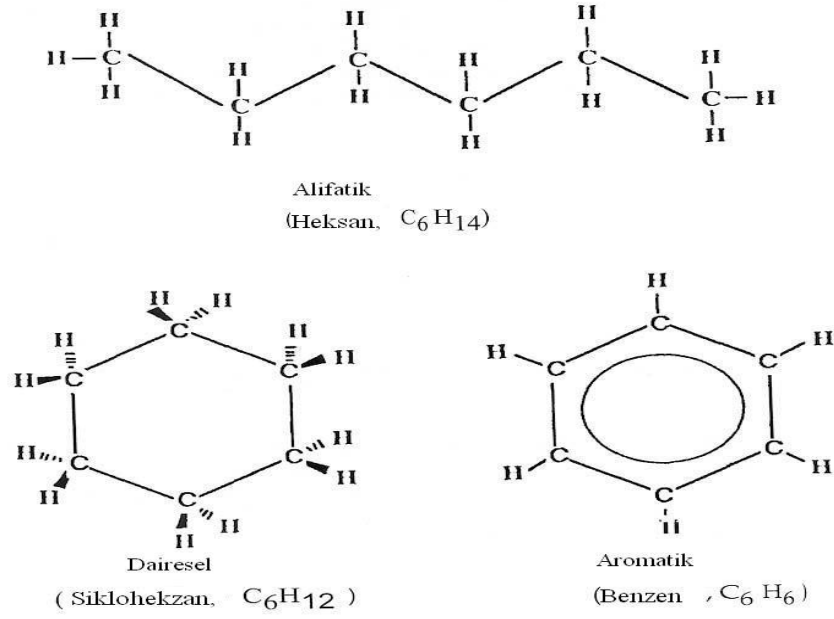
Agrega ile asfalt etkileşimi karmaşık bir olgudur. Asfalt, Nikel, Vanadyum ve Demir gibi metalleri içeren, metalik bileşikler gibi bazı polar işlevselliği olan hidrokarbonlardan oluşmuş bir karışımdır. Agreg farklı bileşiklerde ve aktivite seviyelerinde değişik kısımlara sahip heterojen yüzeyler sağlar. Bu aktif bölgeler genellikle yüklüdür veya asfaltın polar bileşenlerine yönelerek veya çekerek kısmen yüklenir. Asfalt içerisindeki benzer tip bileşikleri belirlemek için kullanılan otoradyografik deneyler, agreg yüzeyindeki aktif bölgelerin varlığını belirlemiştir. Asfalt filmi ve agreg yüzeyi arasında değme noktasındaki polar işlevsellikler yüzey boyunca elektrostatik kuvvetlere, hidrojen bağlarına veya Van der Waals etkileşimlerine bağlıdır. Asfalt molekül hacimlerinin difüzyonu genellikle asfalt ve agreg karışımı sıcak olduğu zaman olur. Moleküllerin hareketi karışım soğuduğunda ve katıyken

azalır. Bu etkiler asfaltın bileşenlerini etkiler. Yüksek sıcaklık ve gerilimli şartlar, moleküllerin hareketi, yönlenmesinin değişimi ve dağılımı için elverişli durum meydana getirir. Sıcak asfalt agrega parçacıklarını kapladığında, ne kadar mevcut çatlak ve gözenek varsa içine girme eğilimindedir. Herhangi kullanılan asfalt molekülü, inorganik yüzeyden çok uzak olmayabilir ya da o yüzeye temas halinde olabilir. Asfaltta kısa süreli kimyasal etkileşimler olabilir çünkü yüklenmiş yüzeyler ve yüzey tarafından çekilen moleküller arasında elektrostatik etkileşimler meydana gelir. Adamson, simetrik olmayan moleküllerin bir ara yüzeye yöneltileceğini belirtmiştir. Yüklenmiş bir agrega yüzeyi, karşıt yüklenmiş veya kısmen yüklenmiş türleri veya fonksiyonel grupları kapsayan türleri de çeker. Çekilen molekülün bir kısmı, agrega tarafından yüklenmiş diğer asfalt molekülleriyle etkileşimde kullanılabilir. Yani zıt olarak yüklü veya kısmen yüklü asfalt molekülleriyle elektrostatik etkileşim olabilir.

2.3.5. Asfalt Bileşimi ve Moleküler Yapısı

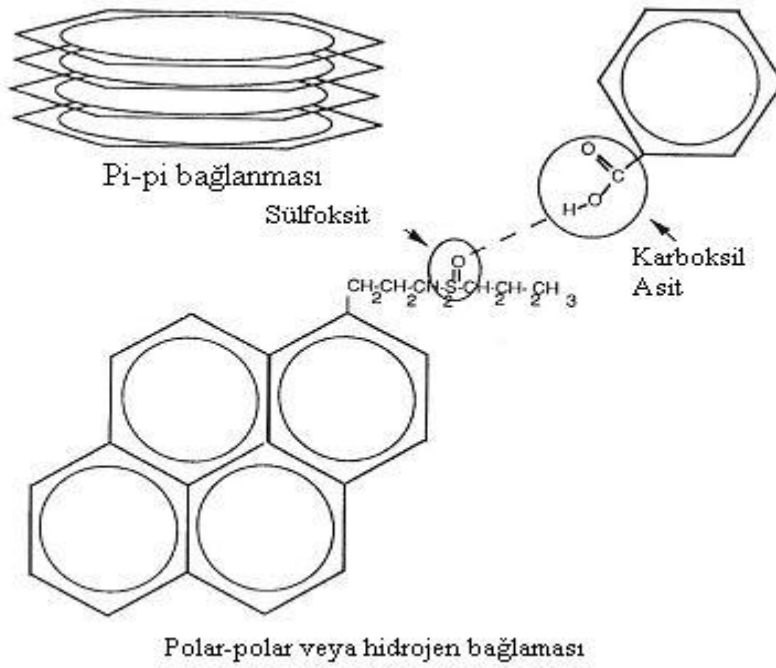
Asfaltın kimyasal bileşimi oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Asfalt molekülleri ağırlıklı olarak karbon ve hidrojen moleküllerinden oluşmaktadır (%90 ve %95 arasındadır). Bununla beraber heteroatom diye adlandırılan diğer atomlar, asfalt moleküllerinin etkileşimi ve asfaltın performansı için çok önemlidir. Bu heteroatomlar Oksijen, Nitrojen, Sülfür, Nikel, Vanadyum ve Demirdir.

Asfalt atomları birbirleriyle bağlanarak molekül halini alırlar. Belki en basitleştirilmiş hali hidrojene doymuş alifatik karbon-karbon zincirli bağlardır. Aynı zamanda karbon-karbon bağları da hidrojene doymuş zincir yapı oluşturabilirler. Bu doymuşluk esasen apolardır ve öncelikli olarak oldukça zayıf olan Van der Waals kuvvetleriyle etkileşir. Asfalt moleküllerinin ikinci bir sınıfı aromatikleri kapsar. Bu molekül hekzagonal bir halka şeklindeki altı karbona sahiptir. Bu halka yalnızca tek ve çift bağlı karbon atomları bağlarına sahiptir. Şekil 2.11’de doymuş (alifatik ve dairesel) ve aromatik yapı örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.11. Doymun (alifatik ve dairesel) ve aromatik yapı örnekleri

Asfalt molekülleri kuvvetli kovalent bağların atomları birbirine bağlamasıyla oluşur. Bu moleküller başka bir molekülle etkileşerek çok zayıf olan pi-pi bağları, hidrojen veya polar bağlar ve Van der Walls bağlarını oluşturur (Jones 1992). Pi-pi bağları aromatik moleküller için tek bağ türüdür. Bu bağlar aromatik moleküllerin polaritesini ve bir arada kalarak yapılanmasını sağlayarak Şekil 2.12’de görülen istif edilmiş bir düzen oluştururlar. Asfalt molekülleri arasındaki hetereatomlar polariteyi geliştirir ve hidrojen bağına dönüşmek suretiyle birbirine bağlanır. Şekil 2.12’de çok önemli asfalt fonksiyonel gruplarından olan sülfoksit ve karboksilik asit arasındaki hidrojen bağı gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Moleküller arası asfalt bağlarının çeşitleri

Van der Walls bağları ikincil bağların en güçsüzleridir. Bu bağlar moleküllerin soğuması veya gerilmenin kalkmasıyla oluşur. Van der Walls bağları düşük sıcaklıklardaki yarı katı yapıya karşın, yüksek sıcaklıklarda asfaltın serbest-akıcı yapısına neden olan bağlardır (Yüce,2008).

2.3.6. Agregaların Adezyon Üzerindeki Etkileri

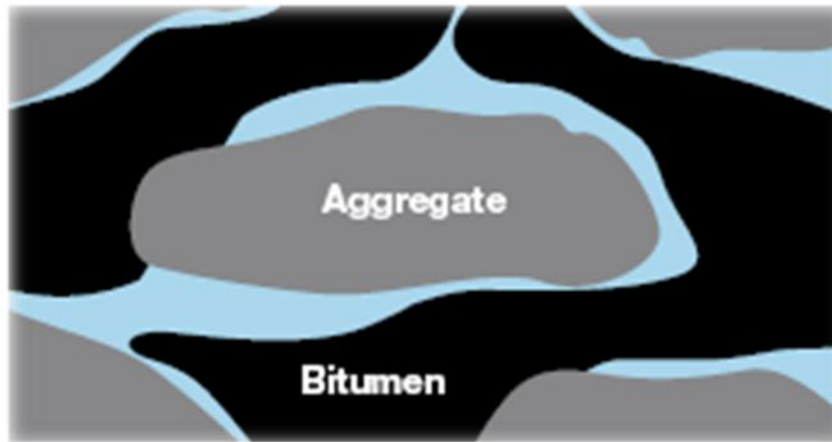
Genel bir hipotez bazik agregalar hidrofil (su seven) iken asidik agregalar hidrofob (su sevmeyen) olduğudur. Bazı agregaların suyun hareketi ile soyulmaya karşı tamamen direnir direnemediği bir yargıdır (Tarrer and Wagh,1991). Genel yargı, hiçbir agreganın suyun soyma etkisine tamamen direnemeyeceğidir. Agreganın yüzey dokusu onun tam anlamıyla bitümle kaplanabilme yeteneğini etkiler ve soyulmayı önlemek için yeterli bir ilk kaplama gereklidir (Maupin, 1982).

Gzowski et al. (1968), uygun bir yüzey dokusu ile sağlanan iyi bir mekanik bağın önemi yanında, köşeliliği fazla olan agregalarda soyulmanın daha fazla olacağını belirlemiştir.

Çünkü köşelilik, bağlayıcı veya mastiğin yapışma kırılmasını ilerleterek bu noktalardan suyun sızmasına yol açar. Cheng et al., Asfalt ve agrega arasındaki bağı hesaba katmadan, agrega ile su arasındaki bağı oldukça güçlü olduğunu hesaplamışlardır. Çizelge 2.5’de beş farklı sıvı veya yarı sıvı (dört bağlayıcı ve su) ve üç farklı agrega için adezif bağ dayanımlarının erg/cm^2 cinsinden hesaplarını ve Şekil 2.13’de agrega, asfalt ve su arasındaki bağ şematik olarak göstermektedir.

Çizelge 2.5. Numunelerde birim alana düşen adezif bağ enerjisi

Bağlayıcı	Agrega		
	Gürcistan Granit	Teksas Kireç Taşı	Kolerado Kireç Taşı
Mastik asfalt	212	189	166
Yıllanmış Mastik asfalt	171	164	145
Su	256	264	231



Şekil 2.13. Agreganın bitümen ve su arasındaki bağın şematik gösterimi

Agreganın kırılmasının etkilerine bakılacak olursa yeni kırılmış bir agreganın yüzeyinin, kırılmamış bir agreganın yüzeyinden daha büyük serbestlik enerjisine sahip olduğu tahmin edilmektedir. Bunun nedeni, kırılma yüzünden kopan bağların içsel enerjiyi büyük ölçüde artırmasıdır. Ancak dikkate alınacak bir husus daha vardır. Tarrer and Wagh (1991), yakın zamanlarda kırılmış agregaların depolanmış agregalara göre soyulmaya

daha eğilimli olduğuna değinmişlerdir. Birçok agreganın özelliği olarak, agrega yüzeyleri etrafından elektrokimyasal çekimin sonucunda bir veya daha fazla tabakada su molekülünün güçlü bir şekilde adsorbe edildiğini ifade etmişlerdir. Diğer taraftan, şayet yeni kırılmış agregaya asfalt ile etkili olarak kaplanabilir ve başlangıçtan itibaren adsorbe edilen su tabakası önlenemezse, asfalt agregaya bağı çok etkili olarak gelişebilir.

Yol kaplamalarında kullanılan agregaların bileşimleri temel olarak silisli veya tamamen kalkerli malzemeler arasında değişkenlik gösteren malzemelerden oluşur. Kil veya diğer minerallerden oluşan toz sık sık agregaya yüzeyini kaplar ve sıcak karışım işlemi için hazırlanan agregaya tam olarak tozdan arındırılamaz. Agregaya yüzeyini örten toz asfalt ise agregadaki teması önlemek ve suyun sızabileceği kılcal kanallar oluşturmak suretiyle soyulmayı ilerletir. Şekil 2.14’de Aşama 1’de agreganın fiziksel özelliklerinin dayanım üzerinde etkileri, Aşama 2’de soyulmaya duyarlılığı ve Aşama 3’de uygulanabilecek test yöntemleri gösterilmiştir(Bagampadde,2004).



Şekil 2.14. Agregaların dayanım ve soyulması üzerindeki etkiler ve uygulanabilecek test yöntemleri

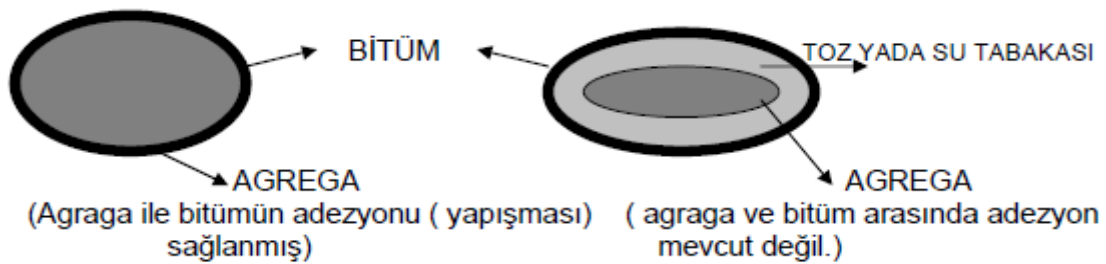
Tarrer and Wagh (1991)' a göre, asfalt ve agrega bağı;

- I. Agreganın önceden ısıtılması,
- II. Agreganın atmosferik etkiye açık bir ortamda bekletilmesi,
- III. Agreganın yüzeyinin toz gibi yabancı maddelerden arındırılması

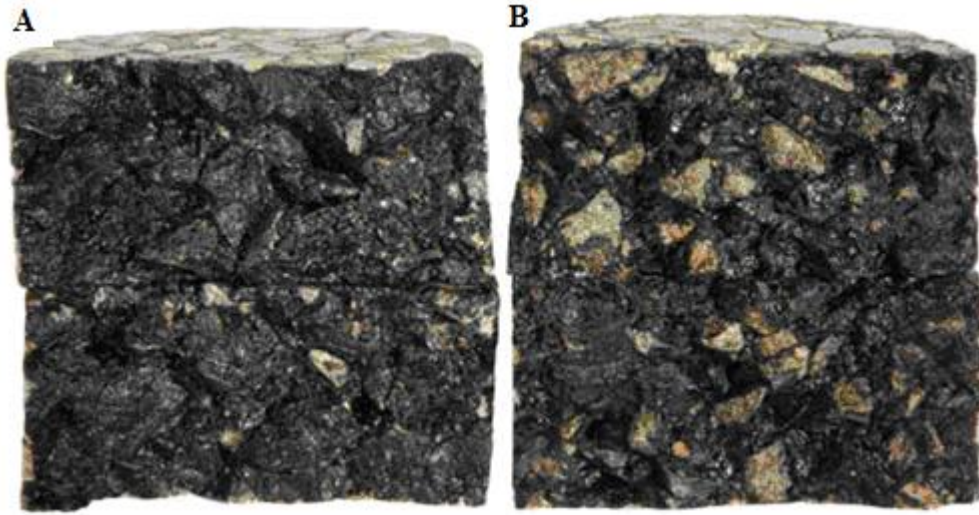
olmak üzere üç yöntemle geliştirilebilir (Yüce,2008).

2.3.7. Kirli ve Tozlu Agregalarda Bağ Bozulmasının Genel Mekanizmaları

Tozlu agregalar genellikle 75 µm'den küçük malzemelerle kaplı olan agregalar olarak tanımlanır. Agregalarda tozu önlemek için belirlenmiş olan agrega gradasyonlarında 200 nolu elekten geçen malzeme oranı %1 veya %1'den daha az olmalıdır. Bu oran geçerse, ince ve iri agreganın yanında bağlayıcıda da gelişen bir sorun olarak kabul edilir. Çünkü asfalt bağlayıcısı agrega yerine kaplanmış olan toza yönelir ve bundan dolayı da bağlarda kopma ve yer değiştirme gibi ana problemler meydana gelir. Şekil 2.15'de yüzeyi toz veya su ile kaplanmış ve kaplanmamış agreganın bitüm ile bağı şematik olarak gösterilmiştir. Resim 2.1'de tozlu ve tozsuz agrega kullanımıyla üretilmiş numunenin kesiti gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Yüzeyi toz veya su ile kaplanmış ve kaplanmamış agreganın bitüm ile bağı şematik gösterimi



Resim 2.1. (A) tozsuz ve (B) tozlu agreganın kullanımıyla üretilmiş numunenin boy kesiti

Kirli agregalar normalde agreganın kil mineral parçacıklarıyla kaplanması olarak ifade edilebilir. Kil boyutlarındaki malzemeler 2 μm daha küçük toprak parçaları olmakla birlikte kil aynı zamanda benzersiz bir mineraloji ve morfolojiye sahiptir. Silika ve alimüna alternatif katmanlarından oluşan kil minerallerinin su emilimine büyük bir yatkınlığı vardır.

Killer doğada plastik olup, plastik limit ve likit limit arasında nem içeriğinin büyük bir plastisite indeksi genişliğine sahip olduğu bilinmektedir. Agreganın yüzeyi üzerindeki kil parçacıklarının varlığı toza benzer. İnce ve iri agregalardaki asfalt bağları kilin toz varlığının bulunmasından ötürü bozulur. Bu anlamda kil parçacıkları durumu daha kötü yapar, çünkü bu partiküller su alarak şişme eğilimine sahiptir ve şişme mekanizması asfaltta var olan bağı kırabilir veya bozabilir.

Asfalt, kil ve su arasında, emülsifikasyon dahil olmak üzere diğer kompleks reaksiyonlara yol açabilir. Kil parçacıkları katyonları yüzeyine çeker çünkü kil parçacıkları güçlü negatif yüzeyle kaplı olup büyük özgül yüzey alanlarına sahiptirler. Emilen katyonların doğası ve miktarı bağ etkileşimleri ve emülsifikasyon potansiyelini etkileyebilir. Özet olarak tozla veya kille kaplı agregalar, asfalt – agreganın bağlarını bozar ve ayrıca su, asfalt ve agreganın arasında emülsifikasyon gibi karışık reaksiyonlara yol açabilir. Kendal et. al. (1998) asfalt karışımlarda soyulmaya neden olan agreganın parçaları

için potansiyel agrega testlerini değerlendirmişlerdir. Asfalt karışımlarda kum eşdeğer deneyi, plastisite indisi testi ve metilen mavisi deneyini düşünmüşlerdir. Kendal ve arkadaşları bu araştırmada 10 adet asfalt karışımı hazırlayıp bu karışımlarda farklı ince agrega ve ortak iri kalker agregası kullanmışlardır. Kendal ve arkadaşları nem hasarını değerlendirmek amacıyla ise iki farklı test kullanmışlardır. Bunlardan biri Amerikan Devlet Karayolları ve Ulaştırma Birliği İdaresi (AASHTO) diğeri ise Hamburg teker izi testiydi. Sonuçların dikkatli istatistiksel analizler yapılması sonucunda, Kendal ve arkadaşları metilen mavisi deneyini karışımlarda nem hassasiyeti tanımlamada en iyi sonuç verdiğini bulmuşlardır(Senadheera et. al.,2006).

2.3.8. Asfalt-Agrega Etkileşimini Arttırmada Kirli ve Tozlu Agregaya Modifikasyonu

Kirli ve tozlu agregaları tedavi etmek için hidrate kireç kullanılır. Kullanılan bu mekanizmada hidrate kireç, kille reaksiyona girerek özelliklerini değiştirir. İki temel mekanizma bulunmaktadır. Bunlar yüzeydeki katyon değişimi veya moleküler kalsiyum hidroksit moleküllerin birikerek kil ve puzolanikle reaksiyonudur. Katyon değişimi veya kalsiyum hidroksit birikme, yüksek konsantrasyon ve iki değerlikli yapısı nedeniyle kil ortamında normalde mevcut katyonların yerine, iki değerli kalsiyum iyon zenginliği sağlar. Bu ise kilin plastisitesinde önemli bir azalmaya neden olur. Ancak, en önemli reaksiyon puzolonik reaksiyondur ve kostik kalsiyum hidroksitin artışı, kireç – su – kil sistemleri arasındaki pH'ı 12'den yükseğe çıkarır. Bu yüksek pH'da kil mineralleri, silika ve çözünebilir alüminyuma saldırır. Çözünür silika ve alümina sonra serbest kalsiyum katyonları ile birleşerek kalsiyum silikat ve kalsiyum alimina hidrat formuna dönüşerek kili stabilize eder, plastisitesini azaltır ve daha iyi hale sokar (Little and Jones,2003). Kireç ile modifiye edilmiş agrega yüzeyindeki killerde agrega üzerinde kil tabakası ortadan kalktığından bu agregalar asfalt karışımında kullanılabilir.

2.4. Bitüm Kaplamalarda Bozulmalar

Her ne kadar trafik hacmi, standart dingil yükü tekerrür sayısı ve iklim-sıcaklık etkisi kaplamaların bozulmasında en önemli etkenler olsa da, yapım, tasarım eksikliği ve malzeme hatalarının bir veya bir kaçının bir araya gelmesi sathi kaplamaların

bozulmalarını etkileyen önemli sebeplerdendir. Bitüm agregâ bağıını etkileyen malzeme özellikleri ve dış etkiler Çizelge 2.6’ da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6 Bitüm / Agregâ bağıını etkileyen malzeme özellikleri ve dış etkiler

Agregâ Özellikleri	Bitüm Özellikleri	Karışım Özellikleri	Dış etkiler
*Mineroloji *Yüzey Dokusu *Porozite *Toz *Dayanıklılık *Yüzey Alanı *Rutubet İçeriği *Hava Etkisi	*Reoloji *Elektiriksel Polarite *Bileşen Cinsleri ve Oranı	*Boşluk içeriği *Geçirgenlik *Bitüm içeriği *Bitüm filmi kalınlığı *Filler tipi *Agregâ Gradasyonu *Karışım Tipi	*Yağmur *Nem *Su Ph’ı *Tuz varlığı *Sıcaklık *Trafik *Tasarım *İşçilik *Drenaj

Adezyondan kaynaklanan hasarlar kaplamada kendini nem hasarı olarak göstermektedir. Nem hasarları oluşumunda üç hasar modu belirlenmiş ve bunlar kategorize edilmiştir.

➤ Kimyasal

- Yapışma/yapışmama
- Yapıştırıcı/yapışkan
- Asfalt veya agregâ; kil/toz/dolgu, mastik hatası, bağlayıcı madde tuzu, agregâ eskimesi ve moleküler uyum aşımını içerir.

➤ Fiziksel

- Tortululuk
- Yüzey alanı
- Absorbsiyon

Su transferi ve permabilite, çevre, agrega morfolojisi ve absorbite, nem difüzyonu ve difüzyon viskozitesi sertleşmesi içerir.

➤ Mekanik/yapısal

- Taş kırımı
- Yıkama

Yoğunluk sorunları, drenaj, film kalınlığı, gizli nem ve mekanik çalışma, hidrolik basınç ve kompaksiyon altında çatlatma hizmetini içerir. Ancak, bu kategorilerin arasında iç ilişkiler ve önemli örtüşmeler vardır. Bu etkenler göz önüne alındığında nem hasarının üç ana mekanizmasını;

1. Emulsifikasyon: Kil, toz, dolgu, asfalttaki tuzlar, mekanik çalışmadan dolayı hidrostatik basınç ve benzerlerini içerir.

2. Yapışkan Hatası: Agrega morfolojisini, absorpsiyon ve eskime, yüzeyde moleküler uyum, permabilite ve benzerlerini içerir.

3.Kohezyon Hatası: Su absorpsiyonu, moleküler uyum, mastik, agrega ve benzerlerini içerir.

olarak sınıflandırmak daha doğru olacaktır.

2.4.1. Agrega Kaybı, Ayrışma ve Parçalanmalar

Agrega kaybı ağır trafik ve yüzeysel suların etkisi ile agrega-asfalt adezyonunun bozulması sonucu meydana gelir. Yüzeydeki agrega parçalarının zamanla kopması sonucu geçirimli bir yüzey oluşmasıdır. Zamanla yüzeydeki sular bu kısımlardan geçerek temel tabakasının gevşemesine ve üst yapının deformasyonuna neden olmaktadır. Sonuç olarak asfalt filmi dış etkenlere açık hale gelir. Resim 2.2’de bir sathi kaplama yüzeyinde adezyon yetersizliği nedeniyle meydana gelen agrega kopmaları ve yüzeyde meydana gelen ayrışmalar görülmektedir (Karaşahin ve Gürer,2007).



Resim 2.2. Bir sathi kaplama yüzeyinde adezyon yetersizliği nedeniyle meydana gelen agregat kopmaları (a) ve yüzeyde meydana gelen ayrışmalar(b).

Değişik faktörler de agregat kaybına neden olabilir, bunlar:

- Asfalt çok soğuduktan sonra agregat yayılması,
- Agreganın yayıldığında çok tozlu ve ıslak olması,
- Agreganın yayıldıktan hemen sonra silindirlenmemesi veya oturmaması,
- Demir bandajlı silindirlerin düşük noktalarda köprü oluşturması ve sıkıştırma yapamaması,
- Yeni kaplama üzerinden erken trafik geçirilmesi,
- Yetersiz ya da yanlış asfalt sınıfı kullanılması ya da yüzeyin emici olması,
- Özellikle demir bandajlı silindirle aşırı silindirleme belli başlı nedenlerdir. (Asphalt handbook, 1989).



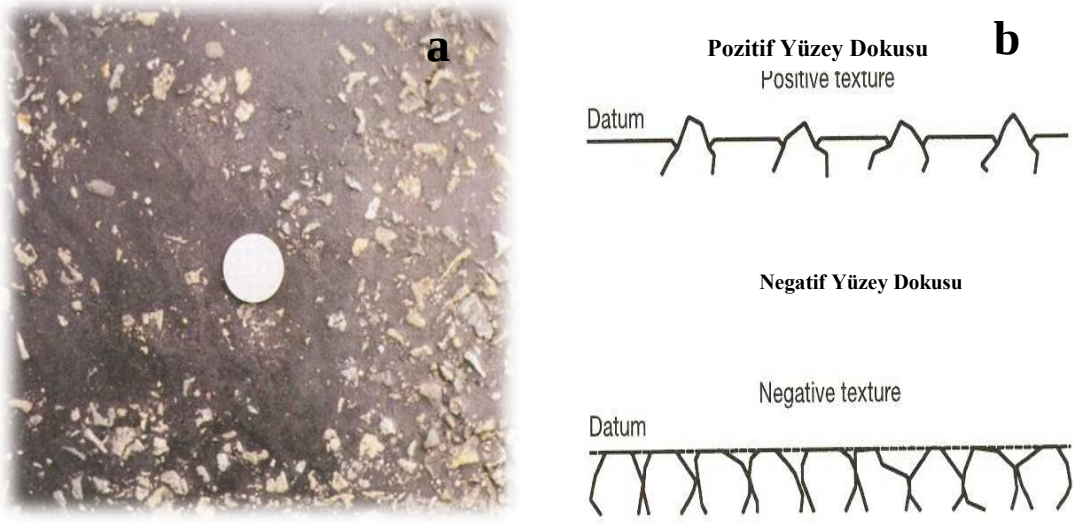
Resim 2.3. Düşük adezyona bağlı yüzeyden agregat kopması

2.4.2. Yüzey Doku Kaybı ve Kusma

Kusma çoğunlukla siyah yamalar şeklinde sathi kaplamalı yol yüzeyinde ayırt edilebilen bozulmalardır. Bir başka deyimle, kusma görülen bir yüzey agregaların daha az görülebildiği düzgün ve kaygan bir görünümdeydir. Yüzey doku kaybı zamanla mıcırların olması gerekenden fazla miktarda gömülmesi neticesinde ortaya çıkan bir bozulmadır ve bu bozulmanın ilerleyen aşaması kusmadır. Kusma veya diğer adıyla terleme, özellikle sıcak havalarda fazla bitümün yol yüzeyine çıkması ile kendini gösterir ve trafik güvenliği açısından olumsuz etki oluşturur. Kompleks bir bozulma şekli olup, aşağıdaki faktörlerin herhangi bir kombinasyonu sonucu oluşabilmektedir.

Bunlar:

- Gereğinden fazla bitüm uygulanması,
- Agregaların yol yüzeyine gömülmesi (Şekil 2.16),
- Agregaların parçalanması; bazı agregata tanecikleri, trafik yükleri altında parçalanmaktadır (en azından iki parçaya ayrılmaktadır). Sonuçta meydana gelen agregata kaybı bağlayıcı-agregata oranının değişmesine, dolayısıyla kismaya yol açar. Burada karşılaşılan sorun, kayma direnci yüksek olan agregaların basınç mukavemetlerinin düşük olmasıdır.
- Bağlayıcı tarafından toz emilmesi; dayanıklılığı yüksek bağlayıcılar üzerine düşen toz partikülleri absorbe etme eğilimi göstermektedir. Yüksek miktarda toz absorbe eden bağlayıcının efektif hacmi artmaktadır. Agregaların gömülmesiyle beraber bu etki yüzey dokusunun kaybolmasına yol açmaktadır. Şekil 2.16 (a)'da bir kusma sonucu agregaların bitüme gömülmesi sonucu yüzey pürüzlülüğünün kaybolmasıyla ilgili bir sathi kaplama bozulması, Şekil 2.16 (b)'de ise agregaların yüzeye gömülmesi sonucu oluşan negatif yüzeyin şematik şekli görülmektedir.



Şekil 2.16. (A).sathi kaplamalarda görülen kuma sonucu oluşan negatif yüzey dokusu
(B).pozitif ve negatif yüzey dokuları

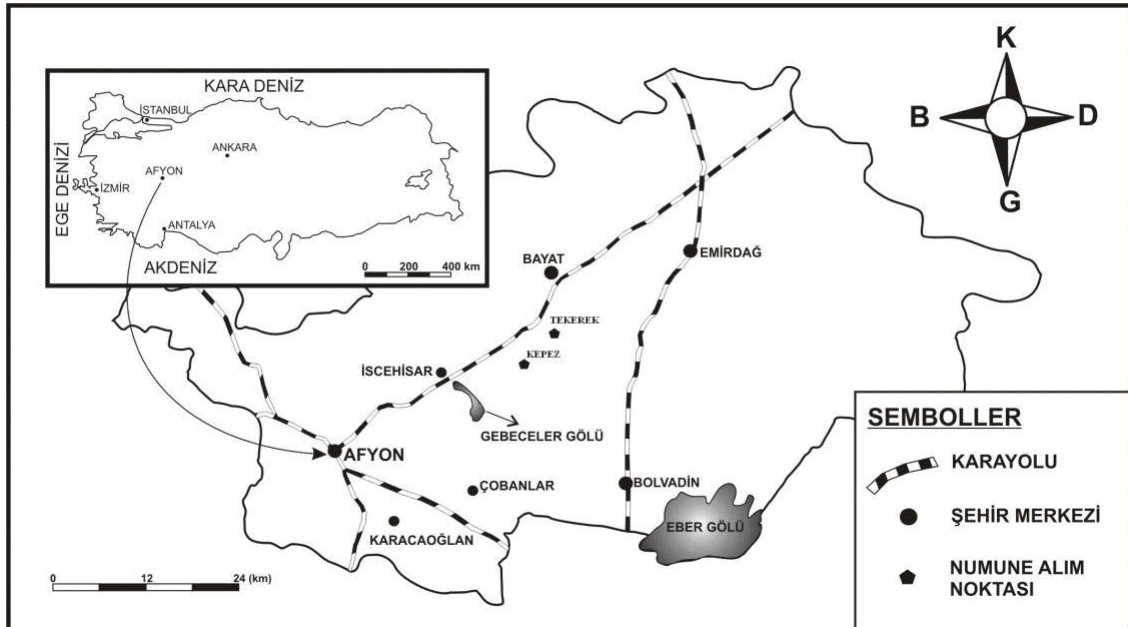
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Yapılan çalışmada materyal olarak agrega ve bitüm (AC) kullanılmıştır. Kullanılan materyallere ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.1.1. Agregalar

Çalışmada kullanılan agregalar Afyonkarahisar ili İscehisar bölgesinden sağlanmıştır. Kullanılan bu agregalar Sağlamlar (A) ve Yeşilay (B) firması ocaklarından sağlanmıştır. Şekil 3.1’de kırmataş agregaların elde edildiği bölgeler gösterilmiştir. Elde edilen bu agregalar mikro devalde tozlandırma yapılarak tozluluk derecelerine göre %0-0,3 arasında tozsuz (A1,B1), %0,3-0,7 arasında orta tozlu (A2,B2) ve %0,7’den büyük durumlarda çok tozlu (A3,B3) olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 3.1. Numunelerin alındığı yerleri gösteren yer bul haritası

3.1.2. Bitüm (AC)

Çalışmada bağlayıcı olarak, Afyonkarahisar Belediyesi asfalt santralinden elde edilen, Aliaga rafinerisinde üretilmiş penetrasyon bitümü cinsi bağlayıcı kullanılmıştır. Söz konusu bitümlü bağlayıcı 50–70 penetrasyonludur.

3.2. Test Metotları

3.2.1. Agreganın Özgül Ağırlığının Tayini

Asfaltta kullanılacak agreganın özgül ağırlığının 2,4-2,8 gr/cm³ arasında olması istenir.

Agregaların üç tane özgül ağırlığı vardır. Bunlar;

- Yüzeyi kuru suya doymun haldeki özgül ağırlığı,
- Hava kurusu özgül ağırlığı,
- Etüv kurusu halindeki kuru özgül ağırlığıdır.

3.2.1.1. İri Agregaların Özgül Ağırlık Deneyi

Bu deney metodu, iri malzemenin absorpsiyonunun ve özgül ağırlığının bulunmasını kapsar, özgül ağırlık, hacim özgül ağırlığı, doymun yüzey kuru hacim özgül ağırlığı veya zahiri özgül ağırlık olarak verilebilir. Bu metot, hafif agregalar için kullanılmaz.

Özgül ağırlık, agreganın uygunluğunu belirtir. Düşük özgül ağırlık sağlam olmayan malzemeyi, yüksek özgül ağırlık ise kaliteli asfalta uygun agregayı tanımlar. Düşük özgül ağırlık agreganın boşluklu ve zayıf olmasına bir işarettir(İnt. Kyn. 1).

3.2.1.1.1. Deneyin Önemi

- Mutlak hacim esasına göre oranları belirlenen veya analiz edilen çimentolu, bitümlü veya diğer karışımlardaki agreganın hacminin bulunması için genellikle hacim özgül ağırlık kullanılır. Hacim özgül ağırlığı, agreganın birim ağırlığının ve

boşluklarının bulunması için de kullanılabilir. Eğer agrega yaş ise yani absorpsiyonunu tamamlamışsa, doymuş yüzey kuru hacim özgül ağırlık kullanılır. Ters durumunda, agrega kuru ise veya kuru kabul edilmişse, hacim özgül ağırlık kullanılır.

- Zahirî özgül ağırlık, boşlukları tamamen su ile dolu malzemenin yoğunluğunu bulmaya yarar.
- Absorpsiyon değerleri, danecikler arasına suyun girmesinden dolayı, agrega ağırlığında oluşan değişikliği hesaplayabilmek için kullanılır. Bunun için kuru agrega yaklaşık 15 saat suda bekletildikten sonra, absorpsiyonu bulunur. Su içerisinde bulunan, ya da yüzeyinde serbest su bulunduran agregalardaki serbest su yüzdesi, toplam su yüzdesinden absorpsiyon yüzdesini çıkararak bulunur.
- Hafif agregalardaki boşluklar, 15 saat bekletme sonunda tamamen suyla doymayabilir. Hatta birkaç gün bekletildiğinde bile absorpsiyonunu tamamlamayabilir. Bu yüzden, bu deney metodu hafif agregalara uygulanmaz (İnt. Kyn. 1).

3.2.1.1.2. Arşimet Yöntemi

İri taneli agregaların özgül ağırlıklarının belirlenmesi için yapılır.

Deneyde kullanılan araçlar;

- Terazî : 20 kg çekerek 1 g duyarlı ve su içinde de tartım yapabilen bir terazî.
- Kafes örgülü sepet: 4 mm göz açıklı elek telinden yapılmış bir sepet.
- Sepeti terazî kafesine bağlama düzeni.
- Kova : Tel sepeti içine alabilecek büyüklükte bir kova.
- Kurutma bezleri : Havlu veya benzeri malzemeden yapılmış bezler.
- Su (TS 3526, 1980).



Resim 3.1. Arşimet terazisi

Deney Arşimet Prensibinden faydalanılarak yapılır. Özgül ağırlık değeri, portland çimentosu betonu, asfalt betonu ve diğer karışımlarda kullanılan iri agreganın özelliklerini belirlemede genellikle kullanılır (ASTM C 127-88,1992). İri malzeme (9-15 mm, 15-25 mm) örneğinden, Çizelge 3.1’de gösterilen miktarlara oranla 500 gr karışım yapılır (TS 3526, 1980). Deneyde kullanılacak olan agreganın hava kurusu ağırlığı (W_0) gramdır. Bu numune 24 saat su içerisinde bekletildikten sonra süzülür ve tanelerin üzerinde gözle görülür su tabakası (film) kalmayıncaya kadar kurutularak tartılır, doymun kuru yüzey ağırlığı hesaplanır (Çavuşoğlu vd., 2004). Tartım işleminde numune (W_2) gr. olarak okunmuştur. Bu ağırlık agreganın doymun kuru yüzey ağırlığıdır. Ardından numune Arşimet terazisinde tartılır. Tartım işlemini yapmak için numune tel kafes içerisine konur ve su dolu kova içerisine yerleştirilir. Bu işlemten sonra terazideki değer (W_3) gr olarak okunmuştur. Suyun kaldırma kuvveti olduğundan Arşimet terazisinde numune daha hafif gelmektedir. Bu sayede doymun olan iri agreganın sudaki ağırlığı bulunur. Daha sonra malzeme etüvde $105\pm 5^\circ\text{C}$ ’ de 24 saat kurutulur ve oda sıcaklığına kadar soğutulur. Bu işlemten sonra elektronik tartı ile numune tartılarak (W_1) gr okunur. Okunan bu değer iri agreganın etüv kurusu ağırlığıdır.

Agreganın su emme kapasitesi, karışım açısından önemlidir. Eğer agregaya suya doygun olmazsa karışım suyunu kullanacaktır ve soğuk havalarda donma yaparak çatlamalara neden olacaktır.

Çizelge 3.1. Özgül ağırlık tayini için gerekli deney numunesi miktarları

En büyük tane büyüklüğü (mm)	0,25	0,50	1	2	4	8	18	31,5	63	90	125
Deney numunesi miktarı (kg)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,5	2	3	5	5	5

Hesaplama;

➤ İri Agreganın Kuru Özgül Ağırlığı

$$\delta_k = \frac{W_1}{W_2 - W_3} \quad (3.1)$$

➤ İri Agreganın Doygun Yüzey Kuru Özgül Ağırlığı

$$\delta_d = \frac{W_2}{W_2 - W_3} \quad (3.2)$$

➤ İri Agreganın Görünen Özgül Ağırlığı

$$\delta_g = \frac{W_1}{W_1 - W_3} \quad (3.3)$$

➤ Su Emme Oranı (onda bir hanesine yuvarlatılarak)

$$M_c = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \quad (3.4)$$

3.2.1.2. İnce Agregaların Özgöl Ağırlık Deneyi

İnce taneli agregaların özgül ağırlıklarının belirlenmesi için yapılır.

Deneyde kullanılan araçlar;

- Terazî: 2 kg çekerkli 0,1 gr duyarlı bir terazî.
- Tablalı ısıtıcı veya hava üflemeli ısıtıcı: Deney numunesinin yakın çevresindeki sıcaklığı 105 °C ±5°C çıkarabilecek güçte gaz veya elektrik ısıtmalı bir tatıla veya hava üflemeli bir ısıtıcı.
- Ölçü kabı: 500 veya 1000 ml lik cam bir ölçü kabı.
- Cam levha: Ölçü kabının üstünü kapatabilecek büyüklükte bir cam levha.
- Metal kalıp: Üst iç çapı 38 mm, alt iç çapı 89 mm, yüksekliğı 73 mm olan kesik koni biçimli metal bir kalıp.
- Sıkıştırma çubuğı: Yaklaşık 25 mm çapında, ucu yuvarlatılmamış, yaklaşık 350 gr ağırlığında, pirinçten yapılmış bir çubuk.
- Vakum pompası.
- Havlu veya benzeri kurutma bezleri, tavalar, mala, vantilatör, desikatör, termometre (TS 3526, 1980).

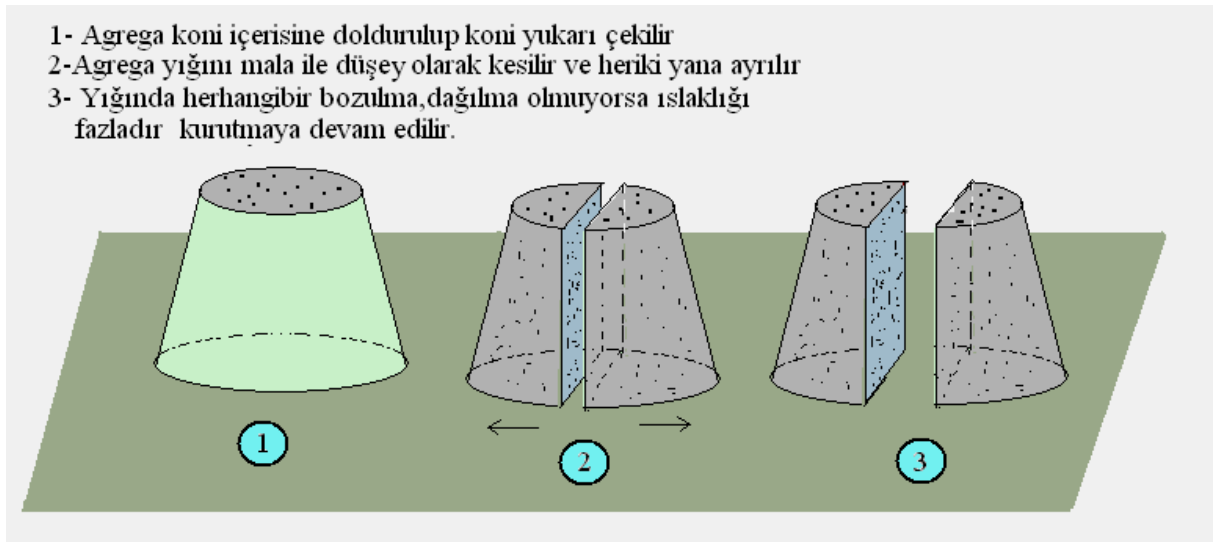
Malzemeyi tam temsil eden deney numunesi bölgeç veya çeyrekleme yöntemiyle Çizelge 3.1’de belirtilen miktar göre oranlanarak 500 gr kadar alınır. Tane büyüklüğüne bağılı olarak alınan numuneler, tam doygun hale gelinceye kadar (en az 24 saat) su içinde bekletilir. Suya doygun hale gelmiş numune, ince taneleri kaybolmayacak şekilde suyu süzülerek tava içine yayılır. Tavadaki numune tablalı ısıtıcı veya hava akımı oluşturan ısıtıcı ile sürekli karıştırılarak DKY (Doygun Kuru Yüzey) haline gelmesi çabuklaştırılır. DKY hali ince agreganın koyu ıslak renkten, açık (kuru) renge değişmeye başladığı anın hemen sonrasındır. Bu halin anlaşılması deneyi yapan kişinin deneyimine bağılıdır. Numunenin çok kurumamasına özen gösterilmelidir. DKY durumuna gelip gelmediğı gözle muayenede anlaşılammış ise bunu tespit etmek için kesik huni yöntemi veya kesme yöntemlerinden biri uygulanır (MEGEP,2006).

3.2.1.2.1. DKY Halinin Kesik Huni Yöntemi İle Belirlenmesi

DKY haline geldiği tahmin edilen numune, geniş yüzeyi alta gelecek şekilde duran kesik huni biçimli metal kalıba gevşek olarak yerleştirilir. Sıkıştırma çubuğu ile 25 defa hafifçe şişlenir. Kesik huni hafifçe çıkarıldığında numune konikliğini devam ettiriyorsa serbest nem var demektir. Kurutmaya devam edilmesi ve bir süre sonra bir kez daha bu işlemin yapılması gerekir. Numunenin konikliğinin serbestçe bozulduğu görüldüğünde DKY haline geldiği anlaşılır. Herhangi bir nedenle kurutmanın gereğinden fazla yapılması halinde az miktarda suyun püskürtülmesi ile nemlendirilen numune yeniden kesik huni deneyine tabi tutulmalıdır (MEGEP,2006).

3.2.1.2.2. DKY Halinin Kesme Yöntemi İle Belirlenmesi

DKY olduğu tahmin edilen numune yarım küre şeklinde bir yığın haline getirilir. Yığın mala ile düşey olarak ikiye bölünür. Bölünen ara yüzeyler kendilerini tutuyor ise kurutmaya devam edilir. Bu yüzeylerin yıkıldığı durumda DKY haline geldiği anlaşılır (MEGEP,2006).



Şekil 3.2. Kesme yönteminin şematik gösterimi

DKY haline getirilmiş numuneden 500 gr tartılır ve geriye kalan numune etüve koymak için ayrılır. Malzemenin DKY ağırlığı kaydedilir. Daha sonra numune etüve konularak

etüv kurusu haline getirilir. Ardından numune desikatöre konarak oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur. Soğuyan numune, cam ölçü kabına doldurulur ve birlikte tartılır. Ölçü kabının daha önceden saptanmış olan darası toplam ağırlıktan çıkarılır ve numunenin kuru ağırlığı belirlenir. Bu işlemden sonra ölçü kabı yaklaşık 20 °C’ deki su ile yarıya kadar doldurulur ve düz bir yüzey üzerinde hafifçe vurularak ve aynı zamanda döndürülerek hava kabarcıklarının çıkması sağlanır. Ayrıca bu esnada hava kabarcıklarının çıkmasını çabuklaştırmak için vakum pompası kullanılır (MEGEP,2006). Bu işlemden sonra ölçü kabının tamamı su ile doldurulur ve cam levha kullanılarak su ekleme kabı yardımıyla boşluk kalmayacak şekilde tamamen su ile doldurulur ve tartılır.

Hesaplama;

$$\delta = \frac{W_1}{(W_1 + W_2) - W_3} \quad (3.5)$$

δ = Deney numunesinin özgül ağırlığı

W_1 = Numunenin yüzey kuru suya doygun (YKSD) ağırlığı

W_2 = Su ile dolu cam kabın ağırlığı

W_3 = İçine numune konmuş ve su ile doldurulmuş cam kabın ağırlığı

Deney üç ayrı numune için üç defa tekrar edilir. Deneylerin sonuçları arasındaki fark % 2 veya daha küçük ise üç deneyin sonuçlarının ortalama değeri ince agrega birim hacim ağırlığı olarak alınır. Eğer iki deney arasındaki fark % 2’den büyük ise deney 3. deney numunesi ile tekrar edilir. Bulunan sonuçların en yakın olan iki tanesinin farkı eşit ise ortalaması kuru özgül ağırlık, DKY veya görünen özgül ağırlık olarak kabul edilir (MEGEP,2006).

3.2.1.3. Filler Malzemenin Özgül Ağırlık Deneyi

Bir bağlayıcının özgül ağırlığı, bunun belli bir hacminin ağırlığının aynı hacimde su ağırlığına oranıdır. Bir bağlayıcının özgül ağırlığı başlıca iki bakımdan önemlidir.

Birincisi; ağırlıkla hacim arasındaki bağıntının bilinmesi faydalıdır. Bitümlü kaplamalara ait şartnamelerde oranlar ağırlıkça yüzde cinsinden belirtilir. Buna karşılık bağlayıcılar genellikle hacimce ölçülür. Sıcak karışımlarda ise bağlayıcının genleşme katsayısının belirlenmesi faydalıdır. Böylece herhangi bir sıcaklıktaki özgül ağırlık hesaplanabilir. İkincisi; hidrokarbonlu bağlayıcının cinsinin bilinmesi açısından özgül ağırlık yararlıdır.

Deneyde kullanılan araçlar;

- Terazî: 2 kg çekerekli 0,1 gr duyarlı bir terazî.
- Piknometre: 500 veya 1000 ml lik cam bir piknometre.
- Vakum pompası
- Saf su
- Pipet

Özgöl ağırlık tayini için piknometre metodu kullanılır. Bu metotta, önce boş piknometre kabı kuru olarak tartılır. Ardından piknometre su ile doldurularak tekrar tartılır. Su ile dolu piknometre tartıldıktan sonra piknometre kabı boşaltılır, kurutulur ve içine uygun miktarda malzeme konulur. 4 nolu elekten geçen etüvde kurutulmuş malzemedenden; kohezyonlu zeminde 50-75 gr. kohezyonsuz zeminlerde 150 gr kadar alınır. 0.01 gr duyarlılıkta tartılan bu malzeme kalibre edilmiş piknometreye doldurulur. Zemin içindeki havayı çıkarmak için piknometrenin ağzından vakum uygulanır. Bu arada havanın çıkmasını kolaylaştırmak için piknometre yavaş yavaş sallanır. Vakum işleminin sonuna doğru, piknometreye ince boyun kesimindeki kalibrasyon çizgisinin yaklaşık 1- 15 cm altına dek havası alınmış arı su eklenir. Tamamen havası alınıncaya dek piknometreye vakum uygulanır. Piknometreye havası alınmış su eklenir. Piknometre içindeki süspansiyon ile birlikte tartılır. Piknometre +numune + su ağırlığı bulunur(İnt. Kyn. 2). Deneyde kullanılacak su saf su olmalıdır. Deney, genellikle 25 °C de yapılır. Farklı sıcaklıklarda yapılacaksa 25 °C ye çevirmek için çeşitli tabaklardan yararlanılır.



Resim 3.2. Kap içerisinde bulunan havanın alımı

Hesaplama;

$$\delta = \frac{(C - A)}{[(B - A) - (D - C)]} \quad (3.6)$$

A = Numune ağırlığı

B = Piknometre ağırlığı

C = Piknometre + Kuru numune

D = Piknometre + Su + Numune ağırlığı

3.2.2. İnce Agreganın Su Emme Kapasitesinin Belirlenmesi

Agregadaki su miktarı, agreganın birim ağırlığına, hatta özgül ağırlığına da etki eder. Birim ve özgül ağırlık doygun kuru yüzey hali için verilir. Agregada boşlukların fazla olması agreganın donma ve çevre etkilerine karşı dayanıklılığını azaltır. Agregada su emme yüzdesinin limiti, kum ve çakıl için % 1'dir. Su emme yüzdesi yüksek olan agreganın betonda ve asfaltta kullanılması beton ve asfalt dayanımını ve dayanıklılığını azaltır (İnt. Kyn. 3).

Bu deneyde amaç tamamen kuru durumdaki agreganın emebileceği maksimum su miktarının belirlenmesi ve yüzde olarak ifade edilmesidir.

Deneyde kullanılan araçlar;

- Saf su.
- Isıtıcı.
- Su kabı: Uygun büyüklükte paslanmaz bir malzemeden yapılmış su kabı.
- Kare Göz Açıklı Elek : No 10, No 40, No 80 ve No 200 .
- Etüv : Termostatlı, $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığı sağlayabilen bir etüvdür.
- Terazî: 2 kg çekerli 0,1 gr duyarlı bir terazî.
- 0-6 mm Agregada.
- Kurutma bezleri: Havlu veya benzeri malzemeden yapılmış bez.

Doğal halde bulunan numune elekten geçirildikten sonra No 4 ve No 200 arasında kalan ince malzeme alınır. Hava kabarcığı kalmayacak şekilde 20°C lik su ilave edilir ve 24 saat suda bekletilir. Malzemenin suda bekletilmesinin amacı numunede boşluk kalmaması sağlamaktır. 24 saat sonunda tavada kalan fazla su dökülür ve kurutulma işlemine geçilir. Kurutma işlemini iri agregadaki gibi bez yardımıyla temizleyemeyeceğimiz için burada farklı yöntemler kullanılır. En çok kullanılan yöntem tava yöntemidir. Çünkü malzemenin daha hızlı kurumasını sağlamaktadır. Tavada malzeme ısıtılarak numunenin yüzeyindeki su buharlaştırılır. Aşırı kurutmamak ve yüzeyi ıslak durumda bırakmamak için ince agreganın TSE standartlarına göre kıvamı belirlenir. TSE standartlarına göre standart koniye (şantiye şartlarında pet bardak)

numune doldurulur. Numune dolduruşunda ne fazla gevşek kalacak şekilde ne de çok sıkı şekilde sıkıştırılmamalıdır. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra koni ters çevrilerek numune düz bir nivo yüzeye kalıbı bozulmayacak şekilde bırakılır.

Kalıp halinde çıkan numuneye serbest düşme yapılacak şekilde üzerine spatula bırakılır. Numune iki tarafa dağılırsa yüzeyi kuru suya doymun hale geldiğini bu kıvam belirleme yöntemi ile anlaşılmaktadır(TSE standart koni çapları; üst iç çapı 38mm, alt iç çapı 89mm, yüksekliği 73mm). Numunede suya doymun yüzeyi kuru kıvamı elde edildiği zaman 0.1gr hassasiyetli elektronik tartı ile tartılarak S.D.Y.K. ağırlığı bulunmuş olunur(W_{dyk}). Bu işlemden sonra ince agreganın havadaki kuru ağırlığını bulmak için etüvde 105 ± 5 °C’ de 24 saat kurutulur ve oda sıcaklığında soğutulur elektronik tartıda tartılır(W_k) (Akbulut v.d., 2003).

Hesaplama;

$$\text{Su Emme Kapasitesi \%} = \frac{W_{dyk} - W_k}{W_k} \quad (3.7)$$

W_{dyk} : Yüzeyi kuru suya doymun ağırlığı

W_k : Etüv kuru ağırlığı

3.2.3. İnce ve İri Agregaların Mevcut Nem Durumunun Belirlenmesi

Asfalt yapımında kullanılacak olan agreganın nem durumunun belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır.

Deneyde kullanılan araçlar;

- Terazî: 2 kg çekerekli 0,1 gr duyarlı bir terazî.
- Kova.
- Numune.
- Etüv: Termostatlı, 105 ± 5 °C sıcaklığı sağlayabilen bir etüvdür.

Asfaltta kullanılacak agregadan alınan numune doğal olarak yani hiçbir işlem uygulanmadan alınarak kovaya doldurulur ve elektronik tartıda ağırlığı bulunur (W_m). Tartım işlemi tamamladıktan sonra numune etüvde 105 ± 5 °C’ de 24 saat kurutulur ve oda sıcaklığında soğutulur elektronik tartıda tartılır. Bu şekilde agreganın havadaki kuru ağırlığı bulunur (W_k).

Hesaplama;

$$\text{Agregadaki Nem Oranı \%} = \frac{W_m - W_k}{W_k} \quad (3.8)$$

W_m : Agregaya yığınının doğal haldeki (hava kurusu) ağırlığı

W_k : Etüv kurusu ağırlığı

Agregadaki mevcut toplam su yüzdesi, su emme kapasitesinden daha düşük ise, agregaya “hava kurusu” durumundadır. Agregadaki mevcut toplam su yüzdesi, su emmesinden daha yüksek ise, agregaya “ıslak” durumundadır.

3.2.4. Agregalarda Birim Ağırlık Deneyi

TS 3529 a göre agregaların birim ağırlık deneyi iki şekilde bulunur.

- Gevşek Birim Ağırlık Deneyi.
- Sıkışık Birim Ağırlık Deneyi (İnt. Kyn. 4).

3.2.4.1. Sıkışık Birim Ağırlık Tayini

Deneyde kullanılan araçlar;

- Terazisi: 1 gr duyarlı 20 kg çekerli terazisi.
- Şişleme Çubuğu: 600 mm uzunluğunda, 16 mm çapında ucu yarım küre biçimli düz bir çubuk.
- Kürek, şaşula.

- Ölçü Kabı: Alt ve üst yüzleri düz ve silindir eksenine dik, iç boyutları Çizelge 3.2’de verilen değerlere uygun, su geçirmez, kullanma sonrasında biçimi bozulmayacak kadar dayanıklı metalden yapılmış, karşılıklı iki kulpu bulunan silindir biçimli kaplar.

Çizelge 3.2. Birim ağırlık tayini deneylerinde kullanılacak ölçü kabı boyutları

En Büyük Tane Büyüklüğü (mm)	İç çap (mm)	Yükseklik (mm)	Kalınlık (mm)	Yaklaşık Hacim (dm ³)
16	155	155	3,5	3
31,5	250	280	3,5	14
125	350	290	3,5	28

Hesaplamadaki önemi göz önünde bulundurularak ölçü kaplarının hacmi çizelgeden alınmamalı, içlerini dolduran 1°C, 5°C ki suyun ağırlığını belirlemek sureti ile saptanmalıdır. Suyun ölçü kabını tam olarak doldurduğu, kap üstüne bir cam plaka sürülerek yerleştirildiğinde, plakanın altında hava kabarcığı olmaması ile belirlenir. Ölçü kabının hacmi, içi su ile dolu iken bulunan gram cinsinden, ağırlığı ile boş iken bulunan gram cinsinden ağırlığı arasındaki farkın 16,5°C ‘daki suyun birim ağırlığına (1 gr/cm³) bölünmesiyle cm³ cinsinden elde edilir (V). Bulunan bu hacmi hesaplarda, dm³ cinsinden, tam sayıdan sonra üç haneye kadar uzatılarak kullanılır. Kapların hacimlerinin kullanma sırasında değişebileceği göz önünde bulundurularak saptama işlemi zaman zaman tekrarlanmalıdır (TS3529,1980).

Deneyde kullanılacak numune miktarı en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Gerekli deney numunesi miktarları Çizelge 3.3’de verilmiştir (TS707, 1980).

Çizelge 3.3. Birim ağırlık tayini için gerekli deney numunesi miktarları

En büyük tane büyüklüğü (mm)	0,25	0,50	1	2	4	8	16	31,5	63	90	125
Deney numunesi miktarı (kg)	5	5	5	5	5	5	8	25	25	50	50

Ağırlığı (W_1) tartılarak saptanmış uygun bir ölçü kabı, TS 707'ye uygun olarak ve yaklaşık Çizelge 3.3'de gösterilen miktarda oluşturulmuş ve sonra hava kurusu durumuna getirilmiş deney numunesi ile önce yüksekliğinin üçte birine kadar doldurulur.

Agrega en büyük tane büyüklüğü, 31,5 mm veya daha küçük ise, numune, şişleme çubuğu ile yüzeyin her tarafına yayılacak şekilde 25 vuruş yapılarak şişlenip sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi, kap ikinci kez 2/3 ü, üçüncü kez tamamı taşarcasına doldurularak oluşturulan ikinci ve üçüncü tabakalar için de 25 kez şişlenerek tekrarlanır. Ölçü kabı üst yüzü şişleme çubuğu ile ayrılarak düzeltilir. İlk tabakanın şişlenmesi sırasında çubuğu ölçü kabının tabanına şiddetle vurmaktan kaçınmalıdır. Diğer tabakaların şişlenmesi sırasında da ancak alt tabakanın üst yüzeyine girecek kadar kuvvetle şişlenmelidir.

En büyük tane büyüklüğü 31,5 mm den büyük ise sıkıştırma için şişleme yerine çarpma uygulanmalıdır. Çarpma için önce ölçü kabının kulplarının olduğu taraflardan bir yere değerken, öbür kabın bulunduğu taraf yerden 5 cm kadar kaldırılıp serbestçe düşürülür. Sonra bu kabın bulunduğu taraf yere değerken diğer kabın bulunduğu taraf aynı miktar kaldırılıp düşürülür. Düşürme işlemi beton gibi sert bir zemin üzerinde ve ölçü kabının her 1/3 dolduruluşu için 25 kez olmak üzere toplam 75 kez uygulanır. Şişleme veya

Çarpma işlemi tamamlandıktan sonra ölçü kabının st yüzünden taşan agrega fazlası sıyrılarak alınır. l kabı agrega ile birlikte tartılır (W_2).



Resim 3.3. Sıkışık birim ağırlık tayini deney yapımı

Hesaplama;

Agreganın sıkışık birim ağırlığı aşağıdaki formül ile tam sayıya yuvarlatılarak hesaplanır.

$$U = \frac{(W_a)}{V} = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (3.9)$$

U : Agrega birim ağırlığı (kg/m^3)

W_a : Agrega ağırlığı (gr)

W_1 : l kabı boş ağırlığı (gr)

W_2 : Sıkışık agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (gr)

V : l kabının i hacmi (dm^3)

Sıkışık birim ağırlık tayini deneyi, agrega numunesinin A ve B bölümünden TS 707'ye uygun olarak ve yaklaşık izelge 3.3'de verilen miktarlarda üretilen iki deney numunesine uygulanır. Deney sonuçları arasındaki fark 5 kg/m^3 veya daha küçük ise sonuçların ortalaması sıkışık birim ağırlık olarak kabul edilir. Fark 5 kg/m^3 den büyük

ise deney bir kez de C bölümünden üretilen deney numunesine uygulanır. Bulunan sonuçların en yakın iki tanesinin, farklar eşit ise üçünün ortalaması sıkışık birim ağırlık olarak alınır (TS3529,1980).

3.2.4.2. Gevşek Birim Ağırlık Tayini

Deneyde kullanılan araçlar;

- Terazî: 1 gr duyarlı 20 kg çekerkli terazî.
- Kürek, şaşula.
- Ölçü Kabı: Alt ve üst yüzleri düz ve silindir eksenine dik, iç boyutları Çizelge 3.2’de verilen değerlere uygun, su geçirmez, kullanma sonrasında biçimi bozulmayacak kadar dayanıklı metalden yapılmış, karşılıklı iki kulpu bulunan silindir biçimli kaplar.

Deneyde kullanılacak numune miktarı en büyük tane büyüklüğüne bağılı olarak değışir. Gerekli deney numunesi miktarları Çizelge 3.3’de verilmiştir.

TS 707’ye uygun olarak oluşturulmuş ve hava kurusu durumuna getirilmiş deney numunesi, ağırlığı tartılarak saptanmış olan (W_1) ölçü kabına kürek ile taşarcasına doldurulur. Bu sırada küreğin, ölçü kabı üst yüzeyinden 5 cm den daha yükseğe kaldırılmamasına, agreganın sıkışmamasına ve ayrışmamasına özen gösterilmelidir. Ölçü kabı üst yüzeyinden fazla agrega elle sıyrılarak düzlenir, sıyrma düzleminden taşan iri agrega varsa çıkarılarak yerine ince agrega ilâve edilir. Ölçü kabı, içindeki agrega ile birlikte tartılır (W_2) (TS3529,1980).



Resim 3.4. Gevşek birim ağırlık tayini deney yapımı

Hesaplama;

$$U = \frac{(W_a)}{V} = \frac{W_2 - W_1}{V}$$

(3.10)

U : Agreg a birim ağırlığı (kg/m³)

W_a: Agreg a ağırlığı (gr)

W₁: Ölçü kabı boş ağırlığı (gr)

W₂: Sıkışık agreg a ile dolu ölçü kabı ağırlığı (gr)

V : Ölçü kabının iç hacmi (dm³)

Gevşek birim ağırlık tayin deneyi agreg a numunesinin A ve B bölümünden TS 707' ye uygun olarak ve yaklaşık Çizelge 3.3'de verilen miktarlarda, üretilen iki deney numunesine uygulanır. Deney sonuçları arasındaki fark 5 kg/m³ veya daha küçük ise sonuçların ortalaması gevşek birim ağırlık olarak kabul edilir. Fark 5 kg/m³ den büyük ise deney, bir kez de C bölümünden üretilen deney numunesine uygulanır. Bulunan sonuçların en yakın iki tanesinin, farklar eşit ise üçünün ortalaması gevşek birim ağırlık olarak alınır.

3.2.5. İri Agregaların Aşınma Deneyi

Bu deney, iri agregaların parçalanma direncinin tayini için yapılacak işlemleri kapsar. Bu amaç için iki metot vardır:

- Los Angeles deneyi
- Darbe deneyi (Alternatif metot)

Darbe deneyi, Los Angeles deneyinde anlaşmazlık durumunda alternatif olarak kullanılabilir.

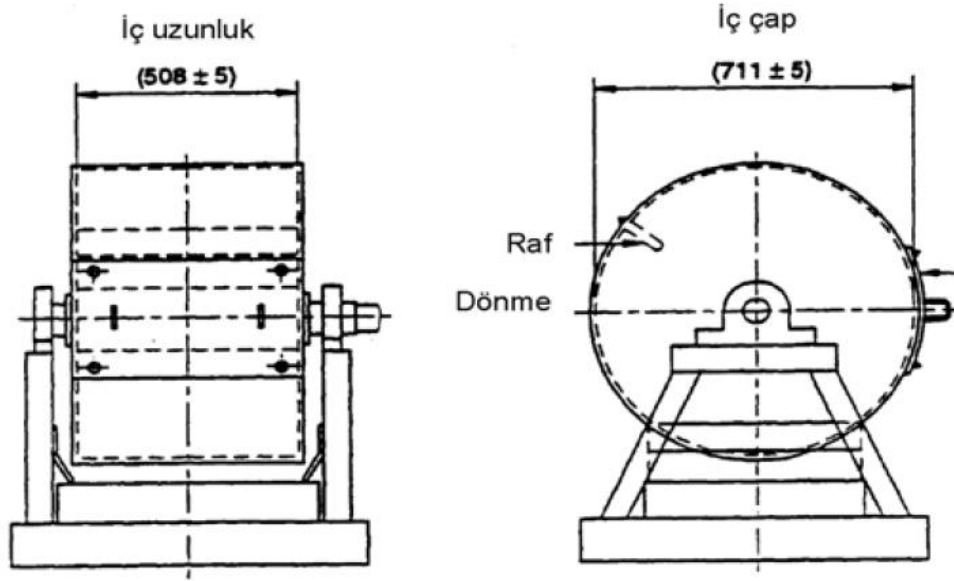
Direnç tayini metotları, yapı ve inşaat mühendisliğinde kullanılan yapay ve tabii agregalara uygulanır. Kütlesi bilinen agrega numunesi, tamburda çelik bilyeler ile birlikte döndürülür. Döndürme işleminden sonra 1,6 mm açıklıklı elekte kalan malzemenin miktarı belirlenir (MEGEP, 2006)

Deneyde kullanılan araçlar;

- Terazî: Deney kısmının kütlesini % 0.1 doğrulukla tartabilen.
- Hava dolaşimli etüv: $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sıcaklığı sağlayabilen.
- Deney elekleri: 1,6–10–11,2 (veya 12,5)- 14 mm göz açıklıklarına sahip olan elekler.
- Los angeles deney cihazı: 31 ile 33 devir/dakika arasında dönme hızına sahip aşındırma yapabilen deney cihazı.
- İlave kaplar (TS EN 1097-1, 2003).

Los Angeles aşınma deney aleti iç çapı 711 ± 5 mm ve içten boyu 508 ± 5 mm olan iki tarafı kapalı çelikten yapılmış boş bir silindir şeklindedir. Silindir iki ucundan şaft üzerine oturmaktadır. Ancak bu şaftlar silindirin içine girmemektedir. Silindir yatay konumda eksenî etrafında en fazla % 1'lik bir sapma ile döner. Gövdede deney malzemesini koymak için bir açıklık mevcuttur. Ayrıca bu açıklığı kapatacak toz geçirmez dört köşesinden vidalanabilen bir kapak bulunur. Bu kapak öyle düzenlenmelidir ki iç kısım silindirik duruma uygun olmalıdır. Silindirin iç yüzeyinde

ve silindir boyunca uzanan 89 ± 2 mm eninde çelikten çıkıntı raflar olacaktır. Bu raflar çok sağlam olacak bir şekilde monte edilmelidir. Monte edileceği yerler de silindirin dış yüzeyinden dönme doğrultusunda olmak üzere rafla kapak arasındaki mesafesi 1,27 m'den az olmayacak şekilde ayarlanmalıdır. Raflar aşınmaya karşı dayanıklı çelikten yapılmalıdır.



Şekil 3.3. Los Angeles aletinin şematik olarak gösterimi

Aşınma deneyi yapılmadan önce deney için kullanılacak agreganın büyüklüklerine göre malzeme miktarları izelge 3.4 ve izelge 3.5'de gösterilmiştir.

a) 19 mm'den daha büyük agregalar için Çizelge 3.4 kullanılacaktır.

Çizelge 3.4. Deney numunelerinin karışım dereceleri

Elek boyu mm (kare açıklık) ³		Belirtilen boyutların ağırlıkları karışma derecesi		
Geçen	Kalan	1	2	3
75,0 mm	63,0 mm	2500±50	-	-
63,0 mm	53,0 mm	2500±50	-	-
53,0 mm	38,0 mm	5000±50	5000±50	-
38,0 mm	25,4 mm	-	5000±25	5000±25
25,4 mm	19,4 mm	-	-	5000±25
	Toplam	10,000±100	10000±75	10000±50

b) 38 mm'den küçük iri agregalar için malzeme yeniden karılacak ve Çizelge 3.5 kullanılacaktır.

Çizelge 3.5. Deney numunelerinin karışım dereceleri

Elek boyu mm (kare açıklık) ³		Belirtilen boyutların ağırlıkları karışma derecesi			
Geçen	Kalan	A	B	C	D
38,0 mm	25,4 mm	1250±25	-	-	-
25,4 mm	19,0 mm	1250±25	-	-	-
19,0 mm	13,2 mm	1250±10	2500±10	-	-
13,2 mm	9,5 mm	1250±10	2500±10	-	-
9,5 mm	5,6 mm	-	-	2500±10	-
5,6 mm	4,7 mm	-	-	2500±10	-
4,7 mm	2,3 mm	-	-	-	5000±10
	Toplam	5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Deney malzemesi ve aşındırıcı topraklar Los Angeles deney aletine yerleştirilir. Makine dakikada 30-33 devir yapacak bir hızla çalıştırılır. Devir sayısı, 38 mm'den küçük agregalarda 500'dür. 19 mm'den büyük agregalarda ise devir sayısı 1000 olmalıdır. Makine çevresel hızı sabit olacak bir şekilde dönmeli ve dengelenmelidir. Eğer çelik raflar açılabilir tip ise dönü yönü aşındırma topraklarını rafların dış yüzeyinde yakalayacak şekilde ayarlanmalıdır.

Öngörülen dönü tamamlandığında malzeme alttan boşaltılır ve 1,7 mm'lik elekten büyük olan malzeme ayrılıp kalanlar bu elekten elenir. Elek üzerinde kalan iri malzeme yıkanır 105°C fırında kurutulur, tartılır.

Test edilen malzemenin uniformluğu konusunda güvenilir bilgi aynı zamanda, 500 devirlik durumda 100 devir sonra, 1000 devirlik durumda ise 200 devirden sonraki kayıpların ölçülmesi ile de elde edilebilir. Kayıp olan malzemeyi bulmak için 1,7 mm'lik elek üstü malzemenin yıkanmaması gerekir. Üniform sertliğe sahip bir malzeme için 100 devir sonrası kaybın 500 devir sonrası kayıba oranı ya da 200 devir sonrası kaybın 1000 devir sonrası kayıba oranı 0,20'yi fazla geçmemelidir. Tabii bu işlemler sırasında malzemenin en ufak bir parçasının dahi kayıp olmamasına özen gösterilmelidir. Örneğin aşınma toprakları bile testin tamamlanabilmesi için gerekli olan son 400 ya da 800'lik devirlerde tekrar alet içine konması gerekir (ASTM C 131-89, 1992).



Resim 3.5. Los Angeles aleti

Hesaplama;

$$A_1 = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (3.11)$$

W_1 : Eleme işlemi yapılan etüv kurusu halindeki numune.

W_2 : Deney sonrası Los Angelesdan çıkıp eleme işlemi yapılan etüv kurusu halindeki numune.

A_1 : % olarak aşınma değeri.

3.2.6. Darbelenme Deneyi

Agreganın ani şok ve çarpma etkilerine karşı dayanımının belirlenmesini sağlayan diğer bir deney türü de agrega darbelenme deneyidir. Bu deney 14 mm BS eleğinden geçip 10 mm BS eleğinde kalan agregalara uygulanır. Agregalar deneyden önce kurutularak yüzey kuru hale getirilir. Darbelenme deneyinde kullanılacak agrega miktarı iç çapı 75 mm ve iç yüksekliği 50 mm olan bir metal mezür yardımıyla belirlenir. Mezür, en fazla 50 mm yükseklikten dökülecek şekilde 1/3'üne kadar doldurulur ve şişleme çubuğu ile 25 defa şişlenir. Mezür daha sonra 2/3'üne kadar sonra da tamamen doldurulur. Doldurma işleminden sonra şişleme çubuğu mezürün üzerinde gezdirilerek çubuğa temas eden agregalar alınır ve varsa yüzeydeki boşluklar ele alınan uygun agregalarla tamamlanır. Mezüre giren agrega ağırlığı(A) tartılarak kaydedilir ve aynı numuneye ait diğer deneyler için aynı miktarda malzeme kullanılır (TS EN 1097-2,2003)

Darbelenme deney aleti düzgün ve sağlam bir yüzey üzerine konularak sabitlenir, mezürle ölçülen miktarda agrega kalıp içerisine konulur ve kalıp sabitlenir. Daha sonra tokmak ayarlanarak 380 ± 5 mm yükseklikten 15 defa 1 sn'den daha kısa aralıklarla agrega üzerine 13,5 kg'lık bir ağırlık düşürülür. Resim 3.6'da darbelenme deney cihazı görülmektedir.



Resim 3.6. Agregada darbelenme değeri tayini için deney cihazı

Bu işlemden sonra deneye tabi tutulmuş agrega kalıp içerisinde çıkarılarak bir tepsiye alınır ve 8 nolu elekten elenir. Daha sonra No 8 eleği geçen (B) ve kalan (C), malzemeleri 0,1 gr hassasiyetle tartılır. İnce malzeme yüzdesi (K) şu şekilde hesaplanır (Akbulut, v.d., 2009).

$$K = \frac{B}{A} \times 100 \quad (3.12)$$

Üst yapı agregaların darbelenme değeri % 18'den az olmalıdır(Gürer,2005) .

3.2.7. Donma - Çözünme Deneyi

Agregaların hava etkileriyle donarak ufalanmaya karşı olan dirençleri hakkında laboratuarda kısa süre içinde karar verebilmek amacıyla uygulanan hızlandırılmış bir deneydir. Agregalar donma-çözülme etkisi altında hacim değişikliği göstermektedirler. Gözenekleri su ile dolan agrega taneleri, suyun donması sonucunda hacmi genişir. Oluşan bu hacim genişmesi sonucunda agrega tanelerinde çok büyük içsel gerilmeler

meydana gelir, fakat buzun erimesi sonucunda bu gerilmeler ortadan kalkar. Donma-çözülme olaylarının çok sayıda olması durumunda agrega taneleri çatlayıp ufalabilir (Akbulut, v.d., 2009).

Esnek yol üst yapılarında kullanılan agregalarda aranan önemli bir özellik de agregaların donma-çözülme etkisine dayanımlarıdır. Özellikle ülkemiz gibi don etkisinin sık görüldüğü bölgelerde agregaların donma çözülme etkisinde parçalanmaması gerekir. Donma-Çözülme etkisi yol katmanlarındaki etkisi farklıdır. Aşınma tabakasında kullanılan agreganın binder tabakasında kullanılan agregaya göre daha dayanıklı olması gerekir (Gürer, 2005).

Deneyde kullanılan;

- Havalandırılmalı etüv.
- Terazî.
- Düşük sıcaklık dolabı.
- Metal Kutula.
- Deney elekleri.
- Deney numuneleri.
- Damıtık su.

TS EN 932-5 standardında belirtilen genel özelliklere uygun olmalıdır.

Dayanıklılık deneyinin donma-çözülme döngüsünden sonra yapılması düşünülüyorsa, bu deney, laboratuvar numunesinden elenerek elde edilen uygun bir agrega büyüklük sınıfı üzerinde yapılmalıdır.

Bu amaçla, yedek dâhil, direnç deneyi için gerekli olan kütlenin iki katı miktarda (Çizelge 3.6) laboratuvar numunesi alınmalıdır. Alınan bu laboratuvar numunesi, iki eşit kısma ayrılmalıdır.

Birinci kısım, donma-çözülme döngüsüne tabi tutulmadan parçalanma ve yoğunluk deneyleri için, ikinci kısım ise donma-çözülme döngü deneyleri için kullanılmalıdır (Woodside et. al., 1998).

Donma deneyi için üç adet deney numunesi kullanılmalıdır. Donma-çözülme döngü deneyi için gereken deney numunesi kısımlarının miktarları aşağıda Çizelge 3.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Donma-çözülme döngü deneyi için gereken deney numunesi miktarları

En Büyük Agregatane Büyükluğu (mm)	Agregat Kütlesi veya Hacmi	
	Normal Agregat (g)	Hafif Agregat (ml)
4–8	1000	500
8 – 16	2000	1000
16 – 32	4000	1500
32 – 63	6000	---

Deney numunelerinin tane büyüklüğü, 8 mm ila 16 mm aralığında olmalıdır. Ancak gerek duyulması halinde, Çizelge 3.6’da verilen tane büyüklüklerinden herhangi biri kullanılabilir (MEGEP,2006).

Agregaların donma-çözülme etkisine dayanım direnci şu şekilde tespit edilir. Deneye tabi tutulacak agregalar için 8-16 mm arası tane büyüklüğünde, yıkanmış üç adet 2000 gr, agregat numunesi hazırlanır. Agregat numunelerini donma çözülme etkisine tabi tutabilmek için 2000 ml kapasiteli metal kutular kullanılır. Her bir agregat numunesi kutulara yerleştirildikten sonra, kutunun içerisindeki agregat seviyesini 10 mm geçecek şekilde saf su ile doldurulur ve kutuların ağızları kapatılır. Donma-Çözülme çevrimi için Resim 3.7’de görüldüğü gibi sıcaklığı kontrol edilebilen bir donma-çözülme test aleti kullanılmıştır.



Resim 3.7. Agregada donma-çözülme test aleti

Dolaptaki numuneler, aşağıda belirtilen şekilde, 10 defa donma-çözülme döngüsüne tâbi tutulur (MEGEP,2006). Fakat numunede hızlı bozulma görüldüğü takdirde uygulanacak döngü sayısı 10 defadan az yapılabilir (ASTM C 666,1992).

- Sıcaklık, (150 ± 30) dakika $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$ 'den $0 ^\circ\text{C}$ 'ye düşürülür ve (210 ± 30) dakika süreyle $0 ^\circ\text{C}$ 'de tutulur
- Sıcaklık, (180 ± 30) dakika $0 ^\circ\text{C}$ 'den $(-17,5 \pm 2,5) ^\circ\text{C}$ 'ye düşürülür ve en az 240 dakika süreyle $(-17,5 \pm 2,5) ^\circ\text{C}$ 'de tutulur.

Her bir donma döngüsü tamamlandıktan sonra, kutu muhtevası, yaklaşık $20 ^\circ\text{C}$ 'deki suyla çözülür. Sıcaklık $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$ 'ye ulaştığında, çözme işlemi tamamlanmış sayılır. Onuncu döngünün tamamlanmasından sonra her iki kutunun içindeki malzeme, deney numunesini hazırlamak için kullanılan alt elek büyüklüğünün yarısı kadar (4 mm) göz açıklığına sahip bir deney eleğinin üzerine boşaltılır. Deney numunesi, belirtilen elek üzerinde elle yıkanır ve elenir. Elek üzerinde kalan agregada $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 'de sabit kütleye gelene kadar kurutulur. Daha sonra ortam sıcaklığına kadar soğutulur ve hemen tartılır (M_2). Donma-çözülme deneyi sonucundaki kütle yüzde kaybı (F), aşağıdaki eşitlikten hesaplanır. Karayolları Yollar Fenni şartnamesine göre yol üst yapılarında kullanılacak agregalardaki donma-çözülme kaybı % 12 den küçük olmalıdır.

$$F = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \times 100 \quad (3.13)$$

Burada M_1 üç deney numunesinin toplam ilk kuru kütlesidir.

Donma-çözülme sonrası direnç kaybı, donma çözülme döngülü ve donma-çözülme döngüsüz olarak elde edilen direnç deneyi sonuçları arasındaki yüzdece fark aşağıdaki eşitlikten hesaplanarak bulunur.

$$\Delta S_{LA} = \frac{(S_{LA1} - S_{LA0})}{S_{LA0}} \quad (3.14)$$

Burada;

ΔS_{LA} =Yüzdece direnç kaybı.

S_{LA0} =Donma-çözülme döngüsü olmaksızın deney numunesi kısmının Los Angeles Katsayısı.

S_{LA1} = Donma-çözülme döngüsünden sonra deney numunesi kısmının Los Angeles Katsayısı (Gürer, 2005)

3.2.8. Elek Analizi Deneyi

Zeminler farklı geometri ve boyutlardaki danelerin bir araya gelmesi ile oluşurlar. Zeminleri oluşturan bu danelerin zemin içerisindeki dağılımları zeminlerin mühendislik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle zeminleri sınıflandırırken zemini oluşturan danelerin dağılımı da etken olmaktadır. Elek Analizi deneyi laboratuvar ölçekli bir çeneli kırıcıda verilen malzeme karışımının parçacık boyutunun küçültülmesi ve küçültülen parçacıkların eleklerden geçirilerek parçacık boyut dağılımının hesaplanması ile zeminleri oluşturan danelerin zemin içerisindeki dağılımı tespit edilir.

Zemini oluşturan danelerin zemin içerisindeki dağılımın tespit edilmesi amacı ile elek analizi yapılır. Bu deney ile zemin içerisindeki ince kum boyutunda ve daha iri tanelerin dane çapı dağılımları elde edilir. Ayrıca zemin içerisindeki kil ve siltin toplam miktarı

da bu deney sonunda elde edilebilir (Geankoplis, 1993). Granülometri asfalt kaplamanın dayanım ve dayanıklılığını, kaplamada kullanılacak bitüm oranını büyük ölçüde etkiler. Bu amaçla elek analizi önemli bir deneydir ve asfalt dışında kullanılacak agregaların özelliği olmayan işlerde kullanılmalarında dahi granülometrik bileşimleri mutlaka belirlenmelidir (Yıldırım ve Yılmaz, 2002).

3.2.8.1. Kuramsal Temeller

Hammaddeler, çeşitli işlemlerden elde edilen ürün veya ara ürünler; temel kimyasal ve metalürjik işlemlere girmeden önce, yüzey büyütme (boyut küçültme), yüzey küçültme (boyut büyütme), malzeme ayırma ve malzeme karıştırma gibi ön ve ara işlemlerden geçirilmektedir.

3.2.8.1.1. Yüzey Büyütme

Yüzey büyütme işlemleri sıklıkla katı fazdaki malzemeler için uygulanır. Katı fazdaki malzemelerin mevcut yüzeylerinin büyütülmesi tane boyutlarının küçültülmesiyle gerçekleşir. Teknolojide bu küçültme işlemleri “kıрма” ve “öğütme” isimleriyle ifade edilir.

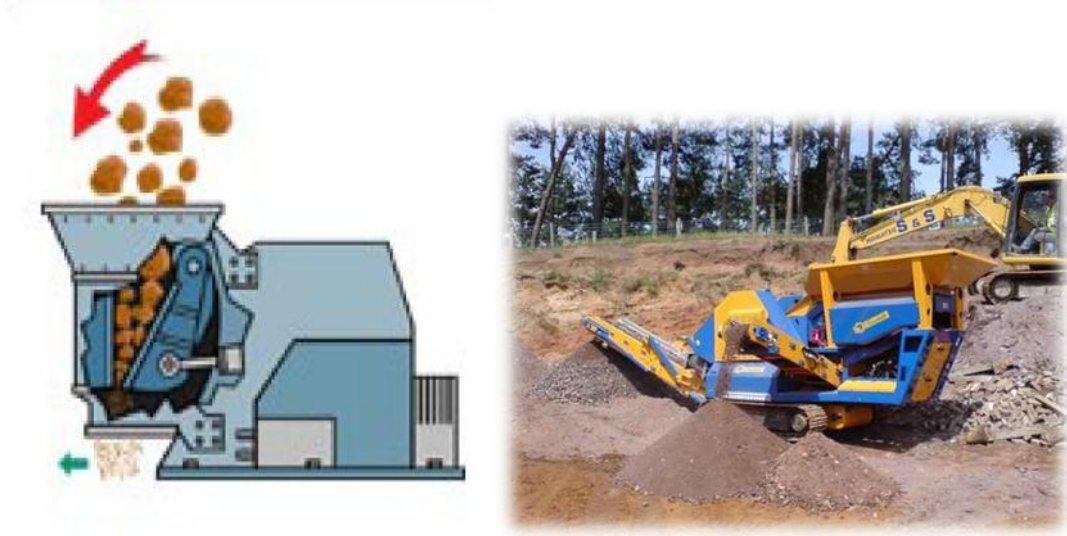
3.2.8.1.2. Kıрма

Kırma, katı bir maddenin mekanik kuvvetler vasıtasıyla daha küçük parçalara bölünmesi işlemidir. Kırma işleminin amacı belli bir parçacık boyutunun altına inmek fakat pek çok durumda belli bir alt sınırı da aşmamaktır.

Kırma işlemi “kaba kırma” ve “ince kırma” olarak ikiye ayrılır. Kaba kırma işlemi sonucunda 50 mm üzerinde boyutlarda parçacıklar üretilir. İnce kırma işlemi sonucunda ise en küçük parçacık boyutunun 5 mm civarında bulunduğu ürünler elde edilir.

3.2.8.1.3. Öğütme

Üretilen parçacıkların en büyük boyutunun yaklaşık 5 mm'den daha az olduğu hallerdeki yüzey büyütme işlemlerine öğütme adı verilir. Öğütme işlemlerinde genellikle eksenini etrafında dönen bir gövde ve içersine konan öğütücü ortam parçalarından (bilya, çubuk, çakıl) oluşan değirmenler kullanılır (İnt. Kyn. 5)



Resim 3.8. Öğütme işleminin gösterimi

Deneyde kullanılan araçlar;

- Ölçü Kabı.
- El Küreği.
- Mala.
- Agregaya Uygun Elek (0.25mm, 0.5mm, 1mm, 2mm, 4mm, 8mm, 16mm, 31.5mm).
- Numune İlave Kapları.
- Elektronik Teraziler: Numuneyi en az %0,1 hassasiyetinde tartacak terazi.
- Teraziler: Deney kısmının kütlesini % 0,1 doğrulukla tartabilen.

3.2.8.2. Deneyin Yapılışı

Granülometri deneyi veya elek analizi birbirini izleyen üç aşamada gerçekleşir.

3.2.8.2.1. Numunenin Alınması

Numune alımı malzemenin alındığı ortam koşullarına göre değişir. Deney tamamen kuru numuneler üzerinde yapılır. Agregada rutubetli ise etüvde kurutulduktan sonra deneye tabi tutulur. Kum ve çakıl yığınının etek ve tepe kısmından numune alınmamasına dikkat edilmelidir. Yığının orta seviyesinden alınan numune en iyi şekilde agregayı temsil eder.

Deney için alınacak malzeme miktarı çok önemlidir. Taneler büyüdükçe granülometri bileşim gerçek durumuna kabil olduğu kadar yaklaşması için daha fazla miktarda malzeme üzerinde deney yapmak lazımdır (Bor,1977).

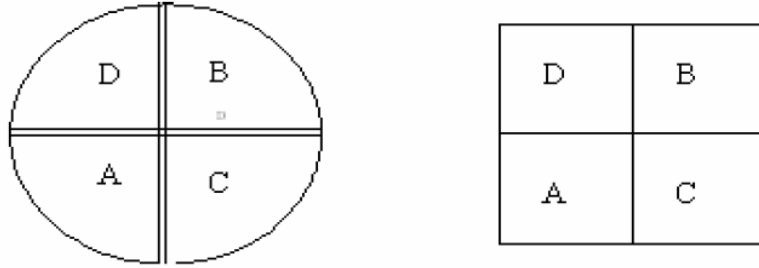
Eğer çalışma laboratuvar koşullarında yapılacaksa bunun için çeyrekleme metodu uygulanır.

Çeyrekleme Metodu;

Toplanan agregada ince taneleri ayrışıp kaybolmayacak kadar nemlendirilir (veya kurutulur) ve doymuş kuru yüzeye yakın duruma getirilir. İyi karıştırıldıktan sonra bölgeç ile dörde bölünerek küçültme (çeyrekleme) yöntemi iki kez uygulanır.

Dörde bölerek küçültme (azaltma) yapmak için agregada, dairesel bir alana her tarafı eşit yükseklikte olacak şekilde serilir. Dairenin çapı (d), serilen malzemenin yüksekliğinin (h) yaklaşık dört katı olmalıdır. Daire şeklindeki alan, bir küreğin kenarı ile planda yaklaşık dört eşit parçaya (A, B, C ve D) bölünür. Parçalardan karşılıklı ikisi (C ve D) numune oluşturmak üzere yerinde bırakılır. Diğer parçalardan ikisi (A ve B) uzaklaştırılır.

Yerinde bırakılan parçalar iyice karıştırılır, dairesel bir alana serilir ve bir kez daha dörde bölünür. Bu bölümün (C ve D) parçaları bir araya getirilerek numune oluşturulur (MEGEP,2006).



Şekil 3.4. Dairesel ve dörtgen çeyreklemeye metodu gösterimi

Çeyreklemeye metodunun yapılmasının nedeni deney için kullanılacak numunenin homojen olarak dağılmasını sağlamaktır.

3.2.8.2.2. Eleme İşlemi

Çeyreklemeye metodu yapıldıktan sonra gerekli koşulları yerine getiren numune, tel örgülü kare gözlü A.S.T.M'ye uygun elekler kullanılarak (İnt. Kyn. 6) boyutu en büyük olan elek üstüne konur ve elemeye başlanır. Elekten geçenler boyutu en büyük olan elek üstünde toplanır ve bu elekten elenir. Genel olarak eleme işi özel eleme makineleri ile yapılmaktadır. Bu amaçla bir seri elek en küçük boyuttan başlayarak sıra ile üst üste geçirilir. En üste bulunan en büyük boyutlu elek üzerine numune konulduktan sonra elek takımı makineye yerleştirilir. Makinenin meydana getirdiği sarsıntı ve sarsma hareketleri sonunda 10-15 dakika içinde eleme işi sona erer (Bor,1977).



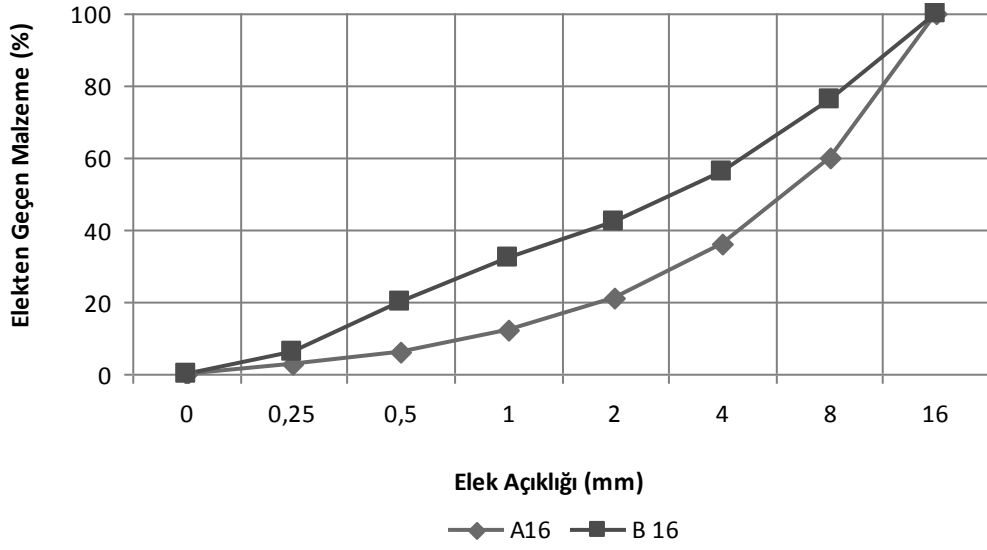
Resim 3.9 Elek analizi için kullanılan elekler

3.2.8.2.3. Tartma İşi

Eleme işlemi sonunda her elek üstünde bir miktar malzeme kalmış bulunmaktadır. En büyük boyutlu elek üstünde kalan agrega tartılır. Bu elekten hemen sonra gelen daha küçük boyuttaki elek üstünde kalan malzeme elenerek tartılır ve bu işlem en küçük boyut elek üstünde kalan malzemenin elenerek tartılması ile sona erer. Bu maksatla duyarlılıklı bir terazi kullanılması yeterlidir.

Hesaplamalar:

Hesaplama işlemleri referans eğrileri esas alınarak yapılır. Bu yüzden Kullanılan malzemelerin tane boyutlarına göre TS'nin belirlediği bazı granülometri eğrileri vardır. Asfalt kaplamayı oluşturacak agreganın tane dağılımı, en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak TS 706 ' da belirtildiği gibi, Şekil 3.5'deki gibi olmalıdır (TS 3530 EN 933-1/A1, 2007)



Şekil 3.5. Standartlarda verilmiş A16 – B16 eğrisi

3.2.9. Tozlandırma Deneyi

İri agregalarda farklı oranlarda tozluluk dereceleri elde etmek amacıyla yapılmıştır.

Deneyde kullanılan araçlar;

- Los Angeles Aleti
- Kap
- Elekler
- İri agrega
- Elektronik Tartı
- Küçük metal kürek



Resim 3.10. Los Angeles aleti

Deneyde kullanılacak numune (1" ile No 10 arası) yıkanır. Bundan sonra malzeme serilerek kurumaya bırakılır. Yapılan bu işlem sayesinde numene üzerinde bulunan filler malzeme temizlenmiş olur. Kurutulmuş olan agregadan 1000 gr malzeme tartılır. Ağırlığı ayarlanmış olan agregası Los Angeles aletine konmadan önce tamburun içi nemli bir bezle silinerek tambur içindeki filler malzeme temizlenir. Bu temizleme işlemi tambur içerisinde her malzeme konuluşunda tekrarlanır. Belirli zaman sürelerinde tambur içerisinde tozlandırılan agregası küçük metal kürek yardımıyla alınır. Bu aşamada malzeme alımında agregası üzerinde oluşmuş olan filler malzeme ele yapışacağından dolayı elin kullanılmamasına özen gösterilmelidir. Tamburdan çıkan malzeme hassas tartı ile tartıldıktan sonra malzeme yıkama işlemine tabi tutulur. Yıkanmış numuneler 24 saat fırında 105 °C'de bekletildikten sonra tartma işlemi tekrar yapılarak numunenin tozluluk oranı bulunur.



Resim 3.11. Tozlandırma yapılmış numuneler

3.2.10. Penetrasyon Deneyi

Yarı katı veya akıcı olmayan bağlayıcıların kıvamlarının viskozimetre ile ölçülmesi mümkün değildir. Bu durumda penetrasyon deneyi yapılır. Penetrasyon ölçmek için kullanılan alete penetrometre denir.



Resim 3.12. Penetrometre cihazı

Deney yapılışı ise, penetrasyon cihazı düzgün bir yere yerleştirilir ve gösterge sıfıra getirilir. Numune istenen sıcaklıkta olmalıdır (genellikle 25 °C’de). İstenen ağırlıkta (genellikle 100 gr) numune yüzeyine ancak degecek şekilde ayarlanır. İğne belirli bir zaman aralığında serbest bırakılır. Genellikle 5 sn’lik zaman bitiminde penetrasyon değeri okunur. Kabin kenarından ve birbirinden 1’er cm’ lik uzaklıkta en az 3 okuma yapılır. Bu okumalar en kısa zamanda yapılmalıdır. İğne, her seferinde uygun bir çözücü ile (Karbon tetra klorür, tri klor etilen, benzin) ısıtılmış bezle silinir. Sonra kuru bezle temizlenir (ASTM D5-97,2003).

Viskozite ve penetrasyon derecesi benzer sayılarla verilir. Örneğin 80-100 penetrasyonlu asfalt, 50-100 viskoziteli asfalt gibi. Fakat bunlar farklı şeylerdir. Bunların benzer şekilde ifade edilmesi yanlışlara yol açar.

Penetrasyon derecesi yükseldikçe daha yumuşak bağlayıcı söz konusudur. Buna karşılık viskozitede durum terstir. Normal yol işlerinde kullanılan asfaltların penetrasyonu 30 ile 300 arasında değişir. Penetrasyonu aynı olan iki asfalttan yumuşama noktası yüksek olan sıcaklığa daha dayanıklıdır.

3.2.11. Su Etkilerine Karşı Dayanıklılık (Soyulma) Deneyi

Bir asfalt kaplamanın ömrü, geniş ölçüde, suyun etkisine rağmen agreganın yapışma kabiliyetine bağlıdır. Soyulma, bağlayıcı maddenin, suyun ve trafiğin bir arada etkimesi ile agreganın üzerinden ayrılması demektir.

Deneye, kırılmış agreganın numunesinin 9,5-4,75 mm veya 4,75-3,35 mm'lik elekler arasında kalan kısmından yaklaşık 200 gr alarak, iyice yıkayıp saf su ile birkaç kere çalkaladıktan sonra 110 °C lik etüve konarak başlanır. Yıkamış kuru agregadan 30±0,5 gr alınarak 1 saat 110 °C lik etüvede bekletilir. Diğer taraftan 1,5±0,1 gr bitümlü malzeme, 250 cm³ beher içinde 110 °C lik kum banyosuna yerleştirilerek ısıtılır. Bitümlü malzeme eriyince etüvede ısıtılmış agreganın hızlı bir şekilde beher dökülür ve bir cam bagetle bütün agreganın tanelerinin üzeri homojen bir bitüm filmiyle kaplanıncaya kadar kum banyosu üzerinde iyice karıştırılır. Bundan sonra bitümlü agreganın beher içinde kuru işlemine tabi tutulmak üzere 24 saat 60 °C'lik beher içinde tutulur. Bu sürenin sonunda beher etüvden çıkarılıp, kum banyosunda hafifçe ıslatıldıktan sonra 10 cm çapında petri kabına aktarılır.

Kaplanmış agregaların üzeri bagetle çok hafif darbelerle düzeltilir ve 10 dakika laboratuvar sıcaklığında bekletilir. Resim 3.13' de petri kabına aktarılmış numuneler görülmektedir. Daha sonra petri kabı su ile doldurulur ve üzeri bir cam kapakla kapatılarak tekrar 24 saat bekletilmek üzere 60 °C'lik etüve konur (Gürer, 2005)



Resim 3.13. Petri kabına aktarılmış numuneler

3.2.12. Marshall Deneyi

Bu metod ile dizayn kavramı, Birleşik Devletler, Mississippi Devlet Otoyolları Departmanında çalışan Bruce Marshall tarafından geliştirilip formüle edilmiştir. Birleşik Devletler Mühendislik şirketinin ileri araştırma ve korelasyon çalışmalarıyla, Marshall Deney Yöntemi geliştirilerek bugün kullanılan son halini almıştır. Daha sonra bu dizayn yöntemi, “American Society for Testing and Materials” tarafından standartlaştırılmıştır. Bu yöntem penetrasyon veya viskozite derecesi belli asfalt çimentolarına ve maksimum boyutu 25 mm (1 inç) veya daha az olan agregalar kullanarak yalnızca sıcak karışım asfalt kaplamalara uygulanır (ASTM D 1559–89, 1992). Ülkemiz karayolları karışım dizaynlarında da bu yöntem kullanılmaktadır.

Marshall Metodu için işlem deney numunelerin hazırlanması ile başlar. Bütün bu işlemlerin başlangıcı için şunlar takip edilir:

- Kullanılacak malzeme evsaf bakımından şartnamelere uyacaktır.
- Hazırlanmış agrega karışımlarının elek analizleri şartnameye uygun olacaktır.
- Kesafet ve boşluk analizi için, karışımda kullanılan bütün agregaların hacim özgül ağırlıkları tayin edilmiş olacaktır.

Hususi bir karışım veya agrega gradasyonu için Marshall metodu ile optimum asfalt miktarı tayininde, muhtelif asfalt miktarını ihtiva eden numune serileri hazırlanır. Bu numunelerin muayyen bazı tecrübeler tabii tutulması sonucu elde edilen değerlere istinaden çizilen eğrilerden bir optimum değeri bulunur. Deney numuneleri, asfalt miktarının her numune serisinde %0,5 arttırılması ve optimum asfalt miktarına nazaran en az %2 aşağıdan başlanarak yine optimum değeri %2 aşacak şekilde ayarlanması suretiyle hazırlanır.

Asfalt miktarını tayin etmek için, önce optimum asfalt miktarının takribi olarak tespiti gerekir. Yeterli deney neticeleri elde etmek için her bir asfalt miktarında umumiyetle üç numune hazırlanır.

Altı muhtelif asfalt miktarı ile yapılacak bir sıcak karışım dizaynının da en az on sekiz numuneye ihtiyaç olacaktır.

Marshall Metodunda standart, silindirik 64 mm yükseklik 102 mm çapında deney numuneleri kullanılır. Bu numuneler ısıtma-karıştırma ve sıkıştırma işlemlerinden oluşan özel bir prosedürle hazırlanır. Marshall Metodu ile karışım dizaynının en önemli özelliği, sıkıştırılmış deney numunelerinde yoğunluk-boşluk analizi ve stabilite-akma deneyleridir (Uluçaylı, 2002).

Deneyde kullanılan araçlar;

- Tepsiler: Agregaları ısıtmak için metal düz dipli
- Etüv ve elektrikli ısıtma plakası: agregayı asfaltı ve bir takım teçhizatı ısıtmak için kullanılır.
- Kürek: Agregaları harman etmek için kullanılır.
- Kaplar: Asfalt ısıtmak için teneke kutular, beherler uzun saplı kaplar
- Termometre: Metal muhafazalı, cam veya metal gövdeli ve yuvarlak kadranlı olabilir. 10-232 santigrat derece hudutlarını havi, agreganın, asfaltın ve asfalt agrega karışımlarının sıcaklığının tayini için kullanılır.

- Terazi: Agregata ve asfalt tartmak için , 5kg kapasiteli 1 grama hassas . Ayrıca 2 kg kapasiteli 0,1 grama hassas terazi, sıkıştırılmış numuneleri tartmak için kullanılır.
- Spatula: Kaşık ve mala karıştırma işlemleri için
- Kaynar su banyosu: Sıkıştırma tokmağını ve kalıbını ısıtmak için bir elektrikli ısıtma plakası ile bir su kovaşından ibarettir.
- Sıkıştırma tablası: 12*12*1 inç ebadında metal başlık geçirilmiş 8*8*18 inç ebadında bir tahta destekten ibarettir. Metal başlık tahta desteğe sıkıca raptedilmiştir. Sıkıştırma tablası şakülünde yerleştirilmemeli, başlıkta tesviyesinde olmalıdır ve bütün sistemde sıkıştırma esnasında sallanmayacak şekilde oturtulmuş olmalıdır.
- Sıkıştırma kalıbı: Bir taban levhası, bir şekil verme kalıbı ve bir de üst parçadan ibarettir. Şekil verme kalıbının iç çapı 4 inç ve yüksekliği takriben 3 inçtir, taban levhası ve üst parça şekil verme kalıbının her iki ucuna da uyabilecek şekilde yapılmıştır.
- Sıkıştırma tokmağı: Vurma yüzü 3 7/8 inç çapındadır. 10 poundluk bir ağırlığın 18 inç yükseklikten düşmesini sağlayacak şekilde yapılmıştır.
- Çıkartma krikosu: Tokmaklanmış numuneleri kalıptan çıkartmak için kullanılır.
- Renkli kalemler: Numunelerin üzerini işaretlemek için kullanılır.

Marshall metodunda her bir sıkışmış numuneye aşağıdaki tecrübeler ve analizler tatbik edilir:

- Hacim özgül ağırlığı tayini .
- Stabilite ve akma tecrübesi .
- Kesafet ve boşluk analizi.

Deney numuneleri hazırlanırken ilk olarak agregalar 105–110 °C’de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulur. İstenen fraksiyonlarda elenip, kurutulan agregalardan, ayrı ayrı kaplarda 1200 gr’lık karışım tartımları yapılır. Her Agregata ve bitüm kombinasyonlarından en az üç adet numune hazırlanır. Hazırlanan kuru karışımlar ve bitüm etüve konularak sıcaklıklarının 3–4 saat süre boyunca minimum 160 °C’ye gelmesi beklenilir. Sıkıştırma işlemine başlamadan yarım saat öncesinde numune

kalıpları, tokmak başlığı, mikser karıştırma kabı ve ucu, spatula, metal numune küreği gibi metal aparatlar da etüv içerisine yerleştirilerek ısıtılır. Isıtma işleminden sonra agrega ve asfalt çimentosu tamamıyla üniform bir asfalt dağılımına sahip karışımı meydana getirmek için mekanik karıştırıcı ile homojen bir dağılım elde edilene kadar 3–5 dakika karıştırılır. Resim 3.14 ve 3.15’de karışım için hazırlanan malzeme ve karıştırma işleminde kullanılan ısıtıcılı mekanik karıştırıcı görülmektedir.



Resim 3.14. 1200 gr’lık karışım tartımı, aparat ve karışımların ısıtılması



Resim 3.15. Çalışmalarda kullanılan ısıtıcılı mekanik asfalt karıştırıcısı ve bir karıştırma işlemi

Asfalt çimentosu ve sıvı petrol asfaltın 170 ± 20 °C viskozite oluşacak şekilde ısıtılacağı sıcaklık, karıştırma sıcaklığıdır. Karışım kalıbın içine yerleştirilmeden önce

kalıbın tabanına, ölçüsüne göre kesilmiş filtre kağıdı yerleştirilir. Numuneler 101,6 mm (4 inç) çapında ve 76,2 mm (3 inç) yüksekliğindeki numune kalıbında, 457,2 mm (18 inç) den düşen 4536 g (10 lb) ağırlığındaki özel bir tokmakla sıkıştırılır. Resim 3.16’de numuneleri sıkıştırma işleminde kullanılan otomatik tokmak görülmektedir.



Resim 3.16. Çalışmada Marshall deney numunelerini hazırlamak için kullanılan otomatik tokmak

Dizayn trafik yüküne bağlı olarak (hafif-orta-ağır), sıkıştırma uygulanacak numunelerin her iki yüzeyine 35–50 veya 75 darbe uygulanır. Bu çalışmada ağır trafik şartlarına göre dizayn yapıldığından 75 darbe uygulanmıştır. Çizelge 3.7’de trafik durumuna göre eşdeğer dingil yükleri görülmektedir. Sıkıştırmadan sonra numuneler oda sıcaklığında hareket esnasında deformasyon yapamayacak duruma gelene kadar soğumaya bırakılır. Şayet hızlı soğuma istenirse fan kullanılabilir (Çetin, 2007).

Çizelge 3.7. Trafik durumuna göre eşdeğer dingil yükü

Trafik Durumu	Eşdeğer Dingil Yüğü
Hafif	$<10^4$
Orta	10^4-10^8
Ağır	$>10^8$

3.2.13. Marshall Stabilite ve Akma Deneyi

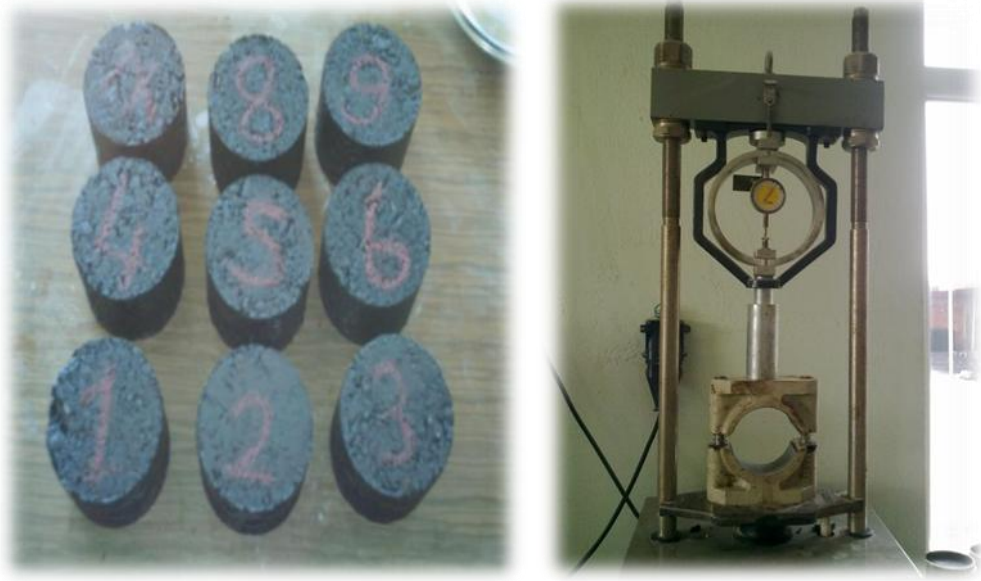
Oda sıcaklığına kadar soğumuş olan briket numune kalıptan bir numune çıkarma krikosu yardımı ile çıkarılarak, 24 saat laboratuvar sıcaklığında bekletilir. Bir kumpas yardımıyla üç ayrı yerden yükseklikleri ölçülen numunelerin havada, 25 °C suda ve yüzey kuru suya doymun durumdaki tartımları yapılır.

Numuneleri teste tabi tutmadan evvel 60 °C derecelik su banyosunda 30 – 40 dakika tutulur. Bu sırada stabilite tecrübe kalıbının iç yüzeylerini iyice temizlenir. Üst segmanın kılavuz çubukları üzerinde kolayca kayabilmesini temin için çubuklar ince bir yağ tabakası ile yağlanır. Tatbik edilen yükü okumak için bir ayar halkası kullanılacaksa, buna ait göstergenin yük yok iken sıfırı gösterecek şekilde ayarlanmış olması lazımdır.



Resim 3.17. Hidrolik numune çıkarıcı ve su banyosu

Numune su banyosunda 30-40 dakika boyunca durduktan sonra çelik bir halkanın iki segmanı arasına yerleştirilir. Akma ölçer yerleştirilerek sıfırlanır. Deneyde; üst segman sabittir. Maksimum yüke erişinceye kadar, alt segmanın hareket etmesiyle dakikada 50,8 mm'lik (2 inç) bir hızla yükleme yapılır. Numune kırılıncaya kadar yüklemeye devam edilir ve Marshall Stabilite değeri kaydedilir. “Marshall Stabilitesi” adı verilen bu değer numunenin kırılmasını sağlayan kg cinsinden toplam yük miktarıdır. Ayrıca numunenin çökme ya da hareket miktarı olan akma değeri ölçülür. Bu esnada deney numunesinin su banyosundan çıkarılıp, maksimum yük saptamasına kadar geçen süre 30 saniyeden fazla olmamalıdır. Numune yüksekliği 63,5 mm'den (2 1/2 inç) farklıysa Marshall Stabilite düzeltme katsayıları kullanılarak yüke düzeltme faktörü uygulanır. Ayrıca bu deneyle karışımın birim ağırlığı, boşluk oranı ve bağlayıcı ile dolu bulunan agreganın boşluğu yüzdesi de saptanır.



Resim 3.18. Deney numuneleri ve bir Marshall deney cihazı



Resim 3.19. Marshall deneyi sonrası numuneler

Stabilite değeri asfalt miktarının artması ile bir maksimum değere kadar çıkar, bundan sonra düşer. Akma miktarı asfalt miktarının artması ile yükselir.

Toplu karışımın birim ağırlığı için çizilen eğri stabilite eğrisine benzer , sadece maksimum birim hacim ağırlık normal olarak (fakat her zaman değil) maksimum stabiliteye nazaran biraz daha yüksek asfalt miktarına tekabül eder.

Boşluk % si, asfalt miktarı arttıkça azalır. Mineral agregadaki boşluk %si önce asfalt miktarının artması ile minimuma kadar azalır, asfalt miktarının daha da artması ile yeniden yükselir.

3.2.14. Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi

Optimum bitüm yüzdesinin hesaplamak için farklı bitüm yüzdelerinde hazırlanmış olan numunelere ait pratik özgül ağırlık, stabilite, akma, boşluk, bitüm ile dolu boşluk, mineral agregalar içindeki boşluk grafikleri çizilir. Daha sonra yoğunluk ve stabilite eğrilerinin en büyük değerlerine karşı gelen bitüm yüzdeleri, asfaltla dolu boşluğu % 65–78 arasına karşılık gelen, boşluk oranı % 3–5 arasına karşılık gelen bitüm yüzdeleri grafiklerden okunarak bulunan değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak optimum bitüm yüzdeleri tayin edilir. Bu şekilde belirlenen bitüm oranına göre üretilen sıcak asfalt karışımı, şartnamelerde belirtilen özellikleri taşıyacaktır. Daha sonra kontrol için optimum bitüm miktarlarının şartnamelerde belirtilen akma ve % VMA'ları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.

Çizelge 3.8. Marshall metodu ile aşınma tabakası dizayn kriterleri

ÖZELLİKLER	AŞINMA TABAKASI	
	MİN.	MAK.
Darbe Sayısı	75	-
Marshall Stabilite (kg)	900	-
Boşluk (%)	3	5
Asfaltla Dolu Boşluk (%)	65	75
Akma (mm)	2	4
Filler/Bitüm Oranı	-	1,5
Asfalt Çimentosu	4	7
Agregalar Arası Boşluk (VMA), (%)	14	-

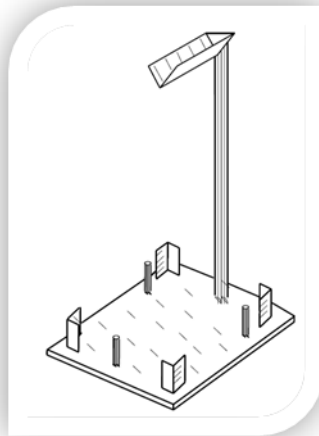
Agregalar arası boşluk değerleri (VMA) çizelge 3.8’de belirtilen değerlerden fazla olmamalıdır (Çetin, 2007).

Çizelge 3.9. Minimum VMA değerleri

Nominal Dmax	Min VMA %
2 ^{''}	11,5
1 ½ ^{''}	12,0
1 ^{''}	13,0
¾ ^{''}	14,0
½ ^{''}	15,0
3/8 ^{''}	16,0

3.2.15. Vialit Deneyi

Sathi kaplama agregaları için agrega-bitüm adezyonunun suyun etkisiyle azalmasını tespit etmek için yapışma deneyi yapılır. Bu deney ile soyulma direnci hakkında da fikir edinilebilir. Şekil 3.6’da Vialit düşme testi ünitesinin çizimsel gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.6. Vialit düşme testi ünitesinin çizimsel gösterimi

Deneyde kullanılan araçlar;

- Vialit düşme testi ünitesi.
- 500 ± 5 gr ağırlığındaki bilye.
- Tava.
- Fırın.
- Lastik bandajlı silindir (İnt. Kyn.7).

Deneye başlamadan önce 19 mm elekten geçip 9,5 mm elek üzerinde kalan yüz tane agrega iyice yıkandıktan sonra 50 °C’de yaklaşık 24 saat süre boyunca kurutulur. Kırmataşların düşmemesi için, kafesin hemen altındaki yerine plaka yerleştirilir ve mekanik sericinin her bölümüne birer tane kırmataş dizilir. Kullanılacak asfalt deneye başlamadan en az 2 saat önce 145-150 °C’deki etüvde ısıtılır. Ayrıca çelik deney levhaları da 145-150 °C’lik etüvde 30 dakika ısıtılır. Isıtılan levhalar üzerine 40 gr asfalt konulup, spatula ile levhanın her tarafına süzgün bir şekilde yayılır. Asfaltlı deney levhası mekanik sericinin içine yerleştirildikten sonra, mıcırların altındaki plaka süratle çekilerek kırmataşların asfalt tabakası üzerine serbestçe düşmesi sağlanır. Silindirme sırasında levha üzerindeki kırmataşların kaymasını önlemek amacı ile kırmataş serildikten sonra levhanın hafifçe soğuyup silindirmeye uygun bir sıcaklığa düşmesi için 2-3 dakika beklenir. Silindirme, lastik bandajlı silindir, agrega serilmiş levha üzerinden üç defa bir yöne ve üç defa da buna dik yönde olacak şekilde altı geçiş ile yapılır. Silindirilmiş deney levhaları oda sıcaklığında 1 saat bekletildikten sonra 35 °C’lik su banyosunda 24 saat tutulur. Deney aleti, ayar vidaları yardımı ile yatay duruma getirilir. Banyodan çıkarılan deney levhası, agregalar alta gelmiş olarak aletin üç sivri ucunun üzerine yerleştirilir. Bilye, 50 cm yükseklikteki hafif eğimli yerinden bırakılarak levhanın tam ortasına 10 saniye ara ile 3 defa düşürülür. Düşürüldükten sonra levha yerinden çıkarılır ve düşen kırmataşlar sayılır. Düşen kırmataş sayısı, toplam mıcır sayısının yüzdesi olarak hesaplanır. Bu değer 12’den küçük olmalıdır (Gürer, 2005).



Resim 3.20. Mekanik sericiye yerleştirilmiş ve silindirme esnasındaki numuneler

3.2.16. Mekanik Batırma Deneyi

Mekanik batırma deneyleri, genellikle çeşitli şekillerde sıkıştırılmış (Marshall kompaktörü vb.) bitümlü karışımların suya batırılmasından sonra mekanik özelliklerindeki değişimin ölçülmesini içermektedir. Dolayısıyla, batırma işlemlerinden sonra belirlenen malzeme yapısındaki değişikliğin başlangıçtakine oranlanması soyulmanın dolaylı bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Batırma öncesi ve sonrasındaki Marshall stabilitesi oranı, korunan Marshall stabilitesi olarak adlandırılır ve genellikle yüzde olarak belirtilir (Çetin, 2007)

Belirli bir agrega tipi ve gradasyonu için daha önceden yapılmış Marshall deneyine ait maksimum stabiliteye karşılık gelen bitüm miktarı tespit edilir ve belirlenen bitüm miktarınca 6 adet Marshall numunesi üretilir. Üretilen Marshall numuneleri bünyelerindeki boşlukların su ile dolması amacıyla 0-1 °C arasındaki sıcaklıktaki su altında vakum uygulanır ve ardından 48 saat süreyle 60 °C'lik su banyosunda tutulur. Son olarak bu numunelerin de Marshall stabiliteleri saptanarak, diğer numunelerin standart Marshall stabilitesine oranı korunan Marshall stabilitesi olarak adlandırılır (AASHTO T 165-2).

4. BULGULAR

4.1. Mineral Agreganın Fiziksel Özellikleri ile İlgili Deney Sonuçları

4.1.1. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deney Sonuçları

Çalışmada kullanılan dört farklı agrega numunesine ait özgül ağırlık ve su emme deneyi sonuçları Çizelge 4.1-2 ve 3’de görülmektedir. Deneyler ASTM C 127-88’e göre yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Zahiri özgül ağırlık deney sonucu

Numune	Zahiri Özgül Ağırlık (gr/cm ³)					Ortalama
A Numunesi (No 4 Üstü)	2,84	2,90	2,86	2,84	2,84	2,84
A Numunesi (No 4 – No 200 Arası)	2,78	2,81	2,81	2,82	2,81	2,81
A Numunesi (Filler)	2,89	2,89	2,86	2,91	2,81	2,87
B Numunesi (No 4 Üstü)	2,73	2,72	2,73	2,71	2,72	2,72
B Numunesi (No 4 – No 200 Arası)	2,69	2,70	2,68	2,69	2,68	2,69
B Numunesi (Filler)	2,65	2,66	2,65	2,66	2,64	2,65

Çizelge 4.2. Hacim özgül ağırlık deney sonucu

Numune	Hacim Özgül Ağırlık (gr/cm ³)					Ortalama
A Numunesi (No 4 Üstü)	2,83	2,88	2,84	2,82	2,82	2,84
A Numunesi (No 4 – No 200 Arası)	2,78	2,73	2,76	2,75	2,75	2,75
B Numunesi (No 4 Üstü)	2,71	2,73	2,73	2,72	2,72	2,72
B Numunesi (No 4 – No 200 Arası)	2,66	2,65	2,66	2,67	2,66	2,66

Çizelge 4.3. Su emme deney sonucu

Numune	Hacim Özgöl Ağırlık (gr/cm ³)					Ortalama
A Numunesi (No 4 Üstü)	0,24	0,32	0,40	0,34	0,39	0,34
A Numunesi (No 4 – No 200 Arası)	0,36	0,72	0,66	0,98	0,67	0,68
B Numunesi (No 4 Üstü)	0,83	0,81	0,77	0,78	0,80	0,80
B Numunesi (No 4 – No 200 Arası)	1,43	1,40	1,42	1,36	1,39	1,40

4.1.2. Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları

Gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık deney sonuçları Çizelge 4.4’de görülmektedir.

Çizelge 4.4. Birim hacim ağırlık deney sonuçları

Numuneler	Gevşek BHA (gr/cm ³)		Sıkışık BHA (gr/cm ³)		Gevşek BHA Ortalama		Sıkışık BHA Ortalama	
	A	B	A	B	A	B	A	B
No 4 Üstü Nm 1	1,51	1,38	1,62	1,46	1,55	1,38	1,62	1,46
No 4 Üstü Nm 2	1,57	1,39	1,62	1,47				
No 4 Üstü Nm 3	1,58	1,38	1,63	1,46				
No 4 Altı Nm 1	1,63	1,46	1,69	1,50	1,62	1,46	1,69	1,51
No 4 Altı Nm 2	1,62	1,46	1,70	1,52				
No 4 Altı Nm 3	1,62	1,46	1,69	1,51				

4.1.3. İri ve İnce Agregalarda Mevcut Nem Durumu

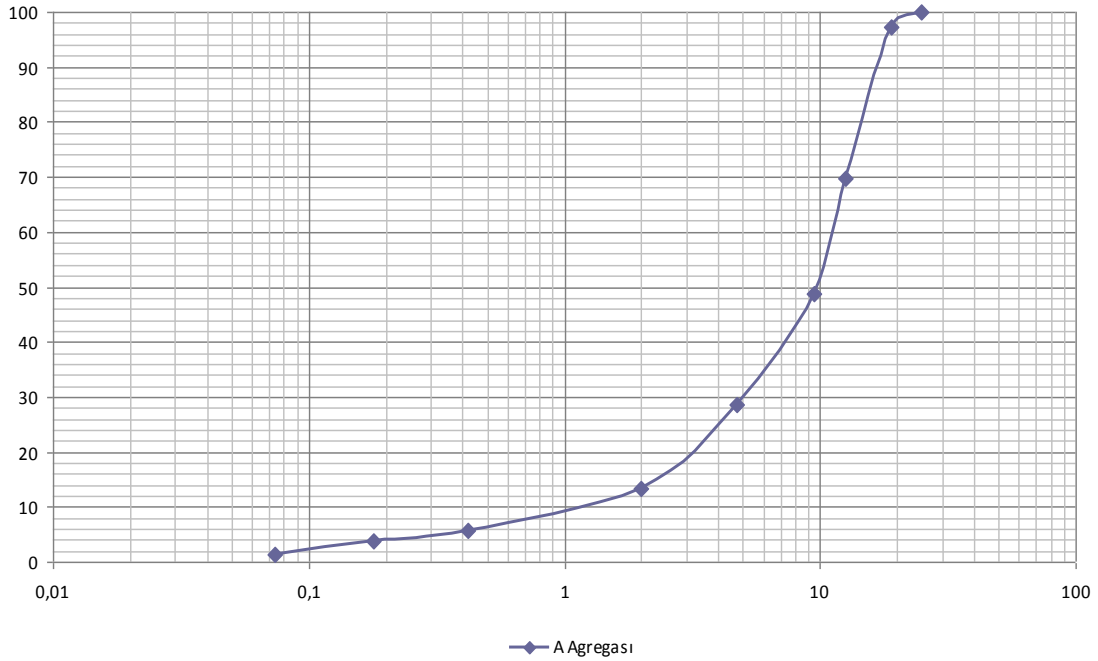
İri ve ince agregaların mevcut nem durumu deney sonuçları Çizelge 4.5’de görülmektedir.

Çizelge 4.5. İri agregalarda mevcut nem durumu deney sonuçları

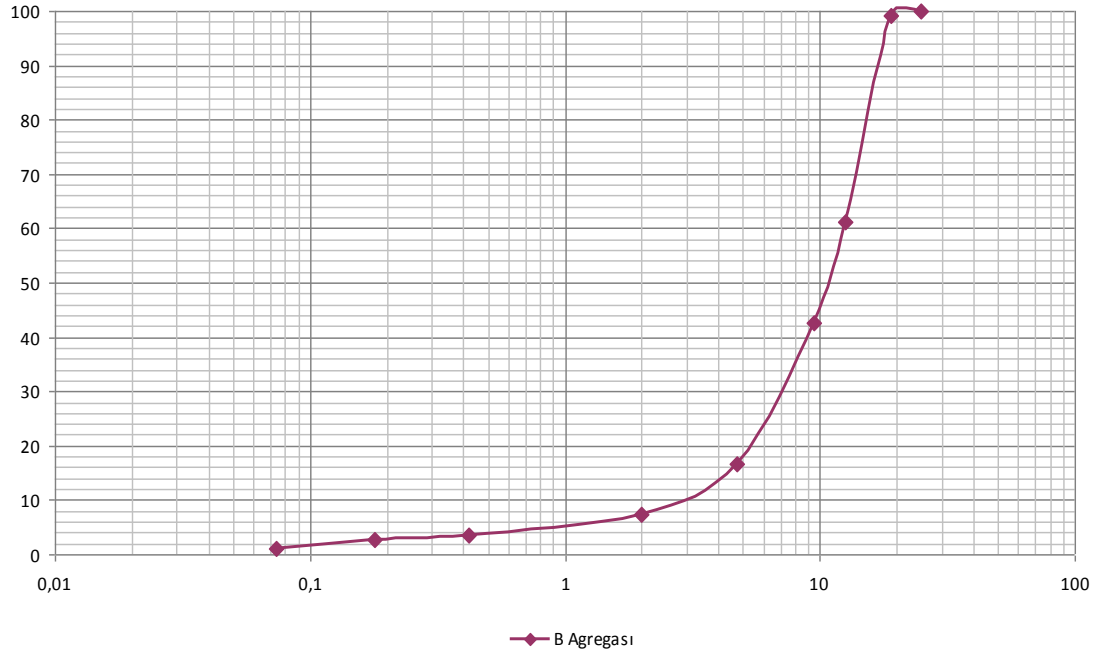
Numuneler	Nem Oranı (%)					Ortalama
A Numunesi	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
B Numunesi	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3

4.1.4. Karışımlarda Kullanılacak Agrega Gradasyonu

Çalışmada kullanılan agrega numunelerinin elek analizleri ASTM C 136–84 a’ya göre yapılmıştır ve granülometri eğrileri Şekil 4.1 ve 4.2’de verilmiştir.



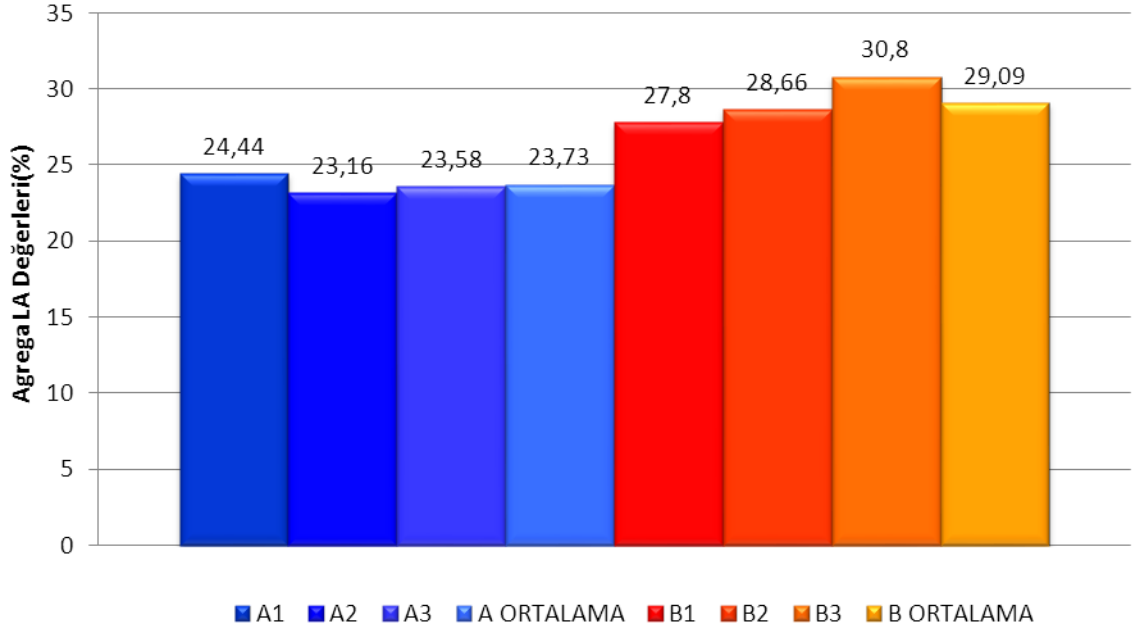
Şekil 4.1. A agregasına ait granülometri eğrisi



Şekil 4.2. B agregasına ait granülometri eğrisi

4.1.5. Los Angeles Aşınma Deney Sonuçları

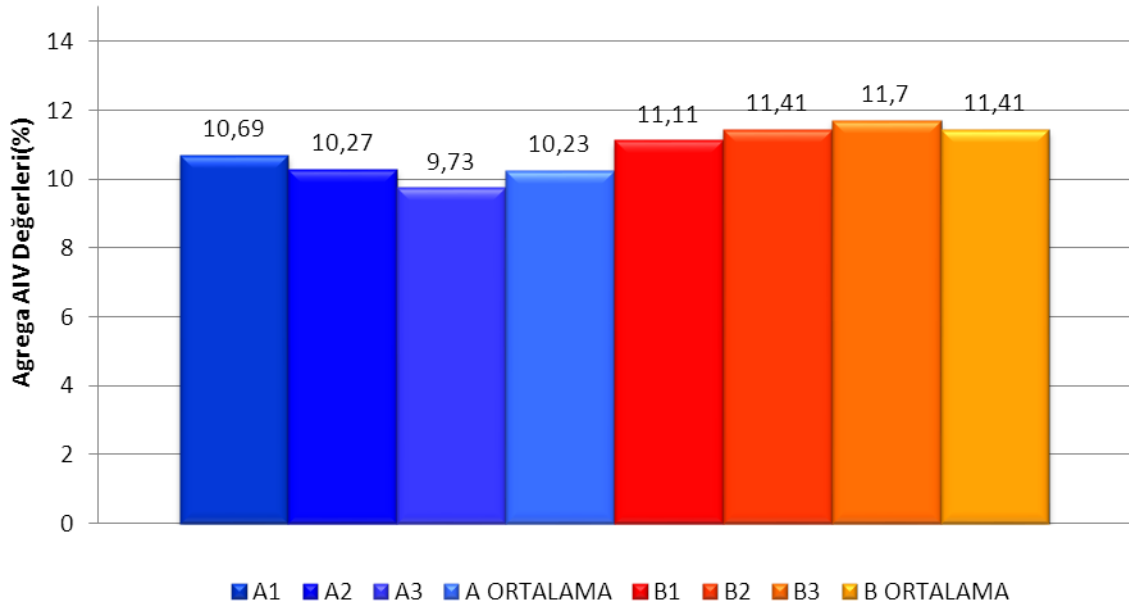
Kaplamalarda kullanılacak agregaların kompaksiyon ve trafik yükleri altında kırılma ve aşınmaya karşı direncini tespit etmek amacıyla EN 1097'ye göre yapılan Los Angeles aşınma deneyi sonuçları Şekil 4.3'de görülmektedir. Deney iki grup agregaya numunesi için (A, B) üçer kez yapılmıştır. Ortalama Los Angeles aşınma kayıpları sırasıyla % 23,73, % 29,09 olarak bulunmuştur. Tüm numunelerde aşınma kaybı % 30 olan kritik değerin altındadır.



Şekil 4.3. Karşılaştırmalı Los Angeles deney sonuçları

4.1.6. Agregada Darbelenme Deney Sonuçları

Agregaların kırılmalarına ve parçalanmalarına karşı fiziksel dayanımını belirlemede kullanılan önemli deneylerden bir diğeri de agregada darbelenme deneyidir. İki adet numunede (A, B) yapılan üç adet deney sonucuna göre ortalama agregada darbelenme kayıpları sırasıyla % 10,23 ve % 11,41 olarak bulunmuştur. Agregada Darbelenme deney sonuçları Şekil 4.4’de görülmektedir.



Şekil 4.4. Karşılaştırmalı darbelenme deney sonuçları

Aşınma tabakası trafik yüklerine en fazla maruz tabaka olduğundan dolayı bulunan deney sonuçları olumludur. Tüm numunelerde aşınma kaybı % 18 olan kritik değerin altındadır.

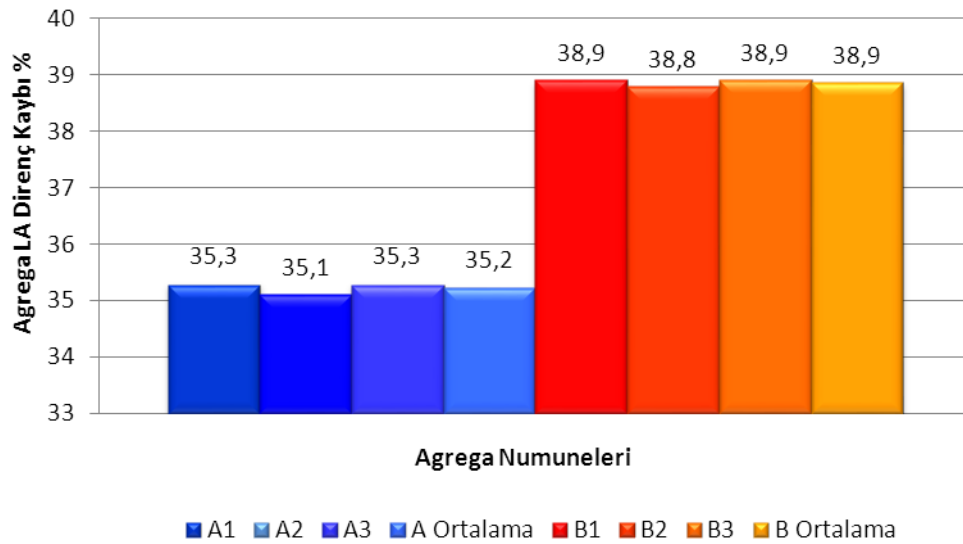
4.1.7. Agregalar İçin Donma-Çözülme ve Donma Çözülme Sonrası Direnç Kaybı Deneyleri Sonuçları

Agregaların donma çözülme etkisine dayanımları ve donma çözülme etkisinden sonraki fiziksel dayanımları da yol inşaatında kullanılacak agregalar için tespit edilmesi gereken önemli özelliklerden birisidir. İki adet numunede (A,B), EN 1097-2'ye göre yapılan donma-çözülme deney sonuçlarına göre ortalama agregaya kayıpları A agregası için % 1,25 ve B agregası için % 1,90 olarak bulunmuştur. Agregada Donma - Çözülme deney sonuçları Çizelge 4.6'da görülmektedir. Tüm numunelerde ağırlık kaybı, şartnamenin belirttiği %12 kritik değerinin altındadır.

Çizelge 4.6. Agregat numunelerinin donma-çözülme kayıpları

Numune İsmi	M1(gr)	M2 (gr)	Donma Kaybı %
A1	2000	1992	0,40
A2	2000	1991	0,45
A3	2000	1992	0,40
		Toplam	1,25
B1	2000	1988	0,60
B2	2000	1985	0,75
B3	2000	1989	0,55
		Toplam	1,90

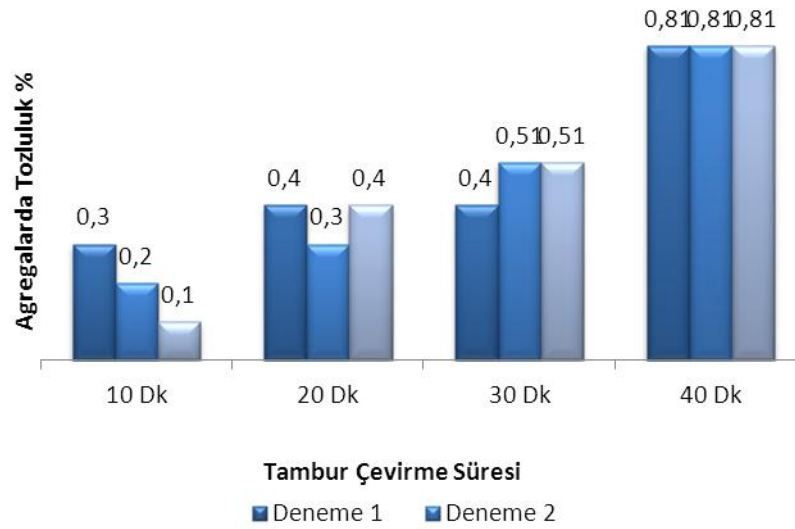
Agregalarda donma-çözülme etkisinden sonra fiziksel etkilerinde azalma olabilir. Yol kaplamalarında kullanılacak agregalar için bu azalmanın mümkün olduğunca düşük seviyede olması istenir. A ve B numunelerine ait donma-çözülme sonrası Los Angeles Aşınma Direnç kaybı değerleri Şekil 4.5’de görülmektedir.



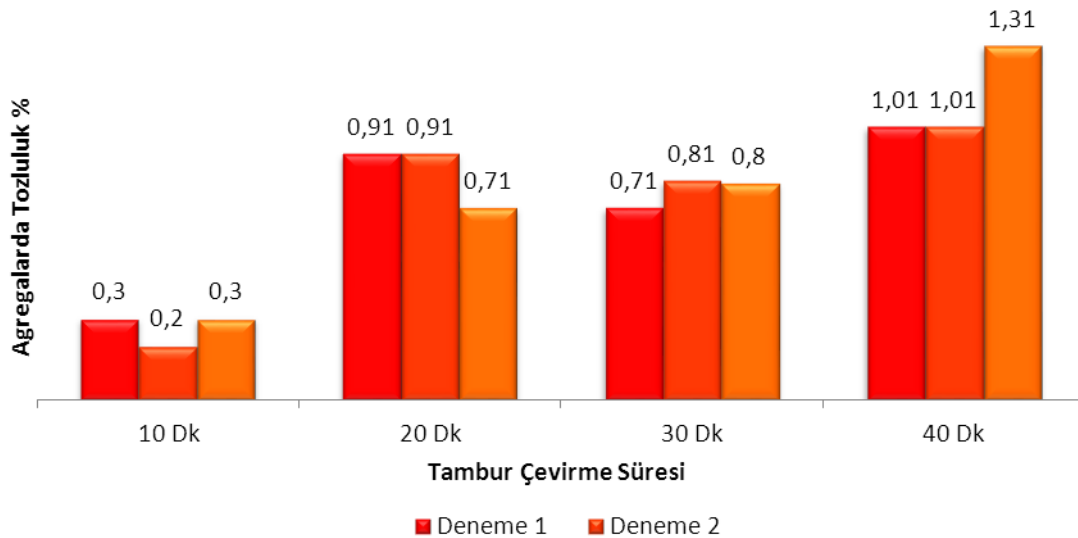
Şekil 4.5. Agregaların donma-çözülme sonrası LA aşınma direnç kaybı

4.1.8. Agregalarda Tozlandırma Deney Sonuçları

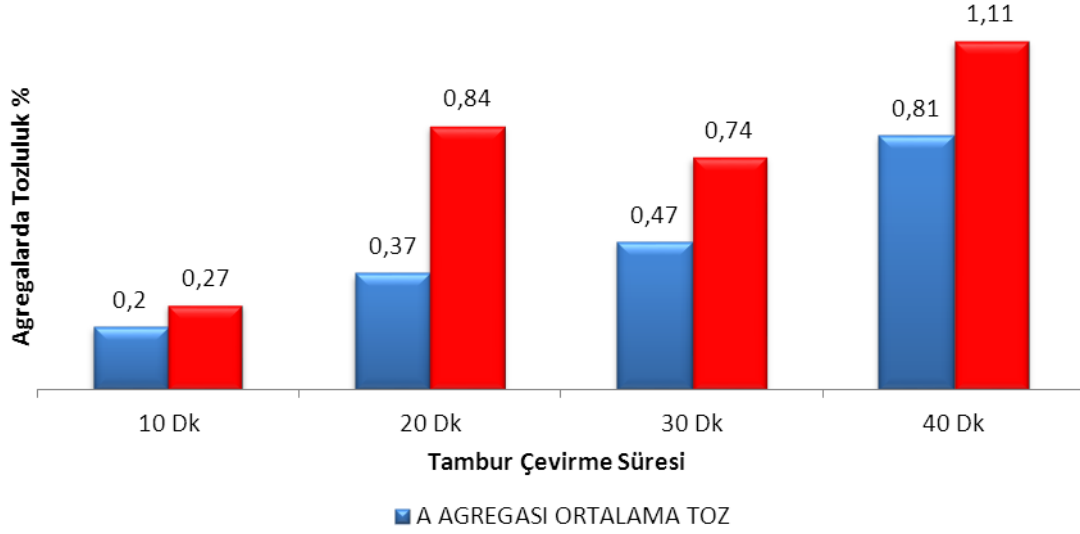
Karışımında kullanılacak agregalar temiz, orta tozlu ve tozlu olarak sınıflandırmak amacıyla agregalar bilyesiz bir şekilde tamburda döndürülmüş ve belli sürelerde ölçümler yapılarak agrega yüzeyindeki tozluluk derecesi hesaplanmıştır. Şekil 4.6-7-8’de agregalardaki tozluluk dereceleri yüzde biçiminde gösterilmiştir.



Şekil 4.6. A agregası tozluluk durumu deney sonuçları



Şekil 4.7. B agregası tozluluk durumu deney sonuçları



Şekil 4.8. A ve B agregası ortalama tozluluk durumu deney sonuçları

Yapılmış olan tozlandırma deneyinde zaman sınıfları içinde A agregasının tozluluk oranı B agregasının tozluluk oranından daha düşüktür. Bu sonuçlar altında A agregasının yüzey yapısının B agregasının yüzey yapısına göre daha az pürüzlü olduğu görülmektedir. Ayrıca B agregasının içsel sürtünme açısı, stabilite, kayma mukavemeti ve bitüm ile adezyon kuvveti, A agregasına göre daha fazla olduğu söylenebilir. Agreganın numunesi üzerinde yapılmış olan bu deney dizini, agreganın yüzeyinin alabileceği en yüksek tozluluk limitine kadar uygulanmıştır. Agreganın yüzeyinde ulaşılmış olan maksimum toz oranının 40 dakikadan sonra çok az bir oranda değiştiği saptanmıştır.

4.2. Bitüm Karışımlarla İlgili Deney Sonuçları

4.2.1. Bitüm Özellikleri

Çalışmada kullanılan bitümlü bağlayıcıya ait mühendislik özellikleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

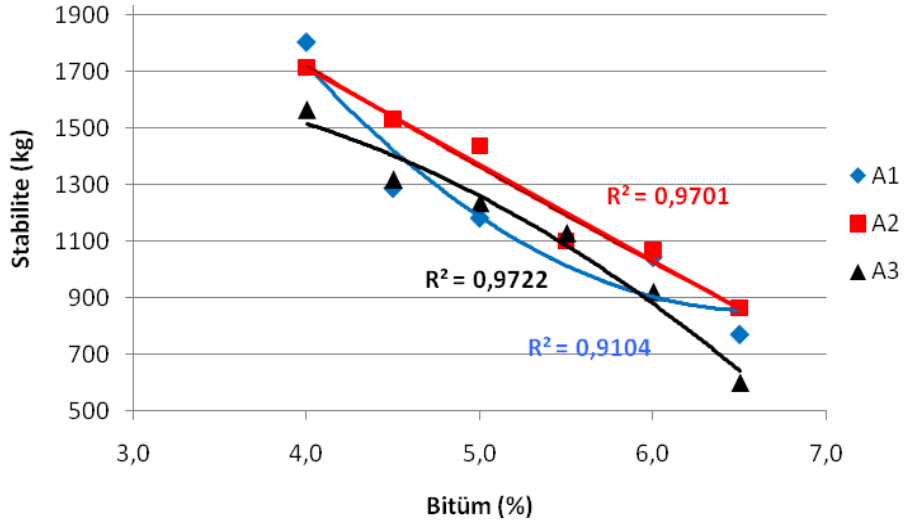
Çizelge 4.7. AC'ye ait özellikler

Özellikler	Değerler	Kullanılan Standartlar
Kaynak	Aliğa/Türkiye	
Penetrasyon Derecesi	50/70	
Penetrasyon Derecesi (25 °C Derecede)	63	ASTM D 5
Özgöl Ağırlık	1,060	ASTM D 70
Yumuşama Noktası (°C)	49	ASTM D 36
Isıtma Kaybı (%)	2	ASTM D 6
Parlama Noktası (°C)	296	ASTM D 92
Düktilite (5 cm/dk)	>100 cm	ASTM D 113
Viskozite (135 °C'de)	0,420 Pa s	ASTM D 4402
Viskozite (165 °C'de)	0,114 Pa s	ASTM D 4402

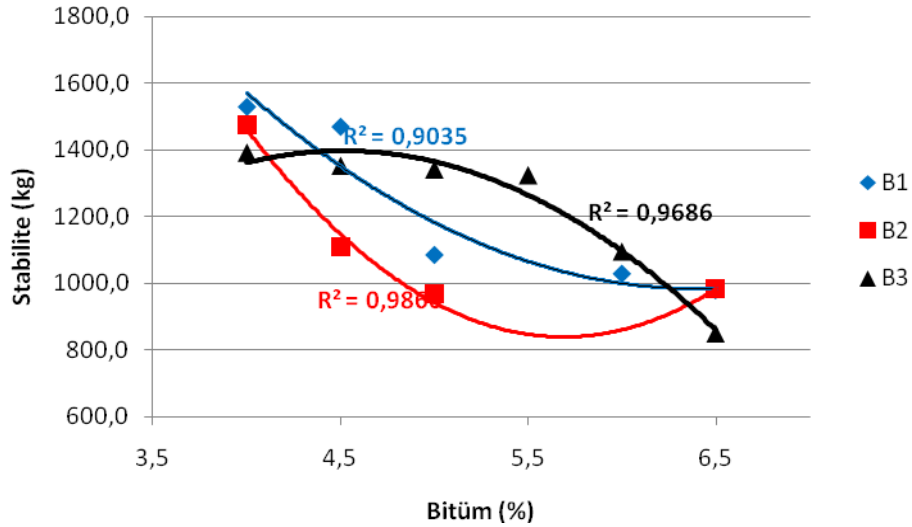
4.2.2. Marshall Metodu ile Optimum Bitüm Yüzdelерinin Belirlenmesi

Her iki agrega numunesi üç farklı toz içeriğinde kullanılarak altı farklı aşınma tabakası Marshall dizaynı yapılmıştır (A1, A2, A3, B1, B2, B3). Marshall dizaynı için tüm numunelere TCK Aşınma Şartname gradasyon eğrisi arasında kalan bir gradasyon için karşım hazırlanmış ve karşım sabit tutularak % 4,0, 4,5, 5,0, 5,5, 6,0, 6,5 oranlarında bitüm verilerek numuneler hazırlanmıştır. Her bir bitüm miktarı için üç adet bitümlü sıcak karşım briketi üretilmiştir. Tüm briket numuneleri için Marshall Stabilite ve Akma deneyi yapılmış, briketlerin sudaki, havadaki ve YKSD ağırlıkları hesaplanarak Stabilite-Bitüm %, Pratik Özgöl ağırlık-Bitüm%, Bitümla Dolu Boşluk % - Bitüm %, Boşluk-Bitüm % grafikleri çizilmiştir. Stabilite ve pratik özgöl ağırlık grafiklerinde maksimum değere karşılık gelen bitüm %'leri, bitümla dolu boşluğu % 71,5'e karşılık gelen bitüm yüzdesi ve boşluğu % 4'e karşılık gelen bitüm yüzdeleri toplamının aritmetik ortalaması alınarak optimum bitüm %'leri hesaplanmıştır. Çizilen Akma – Bitüm % ve Mineral agregalar arasındaki boşluk % - Bitüm % grafikleri çizilerek kontrol amaçlı olarak kullanılmıştır. Optimum bitüm miktarı her bir dizayn grubu için ayrı ayrı hesaplanarak belirlenmiştir. Buna göre A₁, A₂ ve A₃ numuneleri için optimum bitüm miktarları sırasıyla % 4,35 – 3,93 – 4,18 olarak, B₁, B₂, B₃ numuneleri için ise

sırasıyla % 4,98 - % 4,70 - % 4,93 olarak belirlenmiştir. Belirlenen değerler ekonomik sınırlar içerisinde. A ve B agrega grubu numuneler için yapılan Marshall Stabilite – Bitüm % ilişkisine ait sonuçlar sırasıyla Şekil 4.9 ve 4.10’da görülmektedir.



Şekil 4.9. A karışımlarına ait Marshall stabilite – bitüm % ilişkisine ait sonuçlar

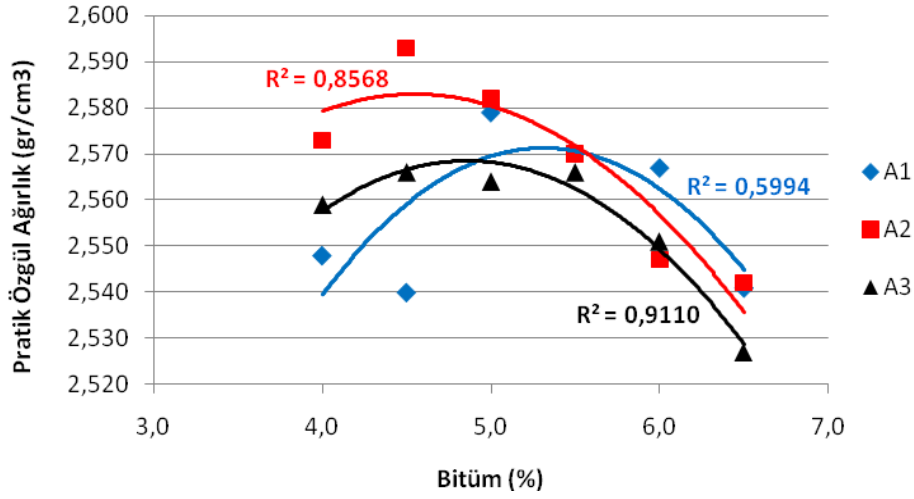


Şekil 4.10. B karışımlarına ait Marshall stabilite – bitüm % ilişkisine ait sonuçlar

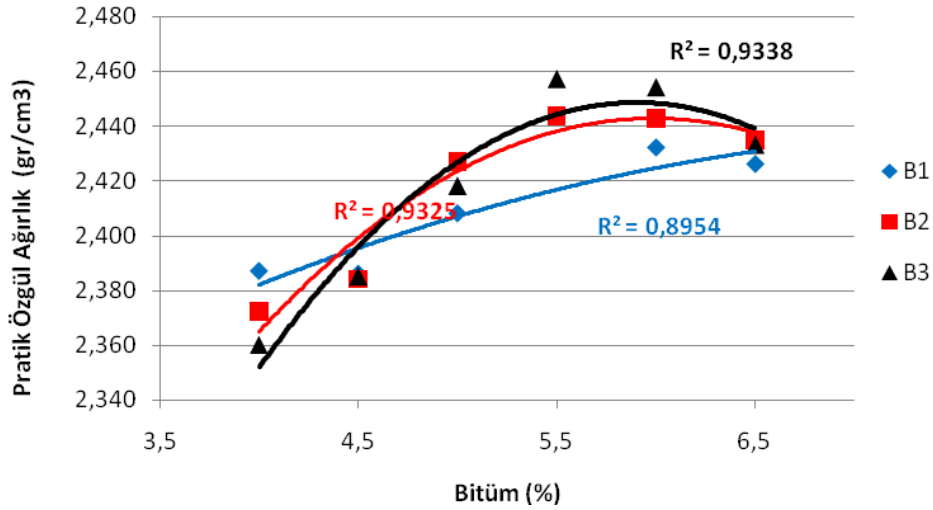
Stabilite bitümlü sıcak karışımlardaki en önemli özelliklerden bir tanesidir. Bitümlü sıcak karışımın trafiğin etkisiyle oluşan basınç, kayma ve yatay gerilmelere karşı

dayanımını belirleyen en önemli özelliklerden birisidir. Şekil 4.9 ve 4.10'dan da anlaşılabilceği gibi her iki karışım grubunda da agrega toz miktarının artışıyla birlikte en yüksek stabilite değerinin düştüğü görülmüştür. Bununla birlikte A3 ve B3 numunelerindeki en yüksek stabilite değerlerindeki azalma daha belirgindir. A3 ve B3 numunelerinde yapışma ara yüzeyindeki toz filminin daha kalın oluşu bitüm-agrega yapışmasının daha zayıf olmasına neden olmuştur.

Bitümlü sıcak karışımlar açısından bir diğer önemli özellik yoğunluktur. Bitümlü sıcak karışımların yoğunluğu arttıkça geçirimsizlik, yaşlanma, soyulma ve sökölme etkilerine karşı dayanımlarının da daha iyi olacağı söylenebilir. Yapılan çalışmada agrega toz miktarının artışına paralel olarak görülen en yüksek stabilite değerlerindeki azalmaya paralel olarak pratik özgül ağırlık değerlerinde de orantılı bir azalma görölmemiştir. Çünkü en yüksek stabilite değerlerindeki toz içeriğinin artışına paralel olarak görülen azalma yapışma ara yüzeyindeki toz filminden kaynaklanmıştır bundan dolayı pratik özgül ağırlıkta da stabilite azalmasına paralel olarak bir azalma görölmemiştir. Karışımlarda agregalar üzerindeki tozun bir kısmı filler etkisi göstererek karışımın yoğunluğunun artmasına neden olmuştur. A₁, A₂, A₃ karışımlarının en yüksek yoğunluk değerleri sırasıyla, 2.572, 2.583, 2.568 gr/cm³ iken B₁, B₂ ve B₃ karışımlarının yoğunluk değerleri sırasıyla 2.425, 2.441, 2.445 gr/cm³ olarak elde edilmiştir. Bitümlü sıcak karışım A ve B serisi numunelere ait pratik özgül ağırlık – bitüm % ilişkileri sırasıyla Şekil 4.11 ve 4.12'de görölmektedir.



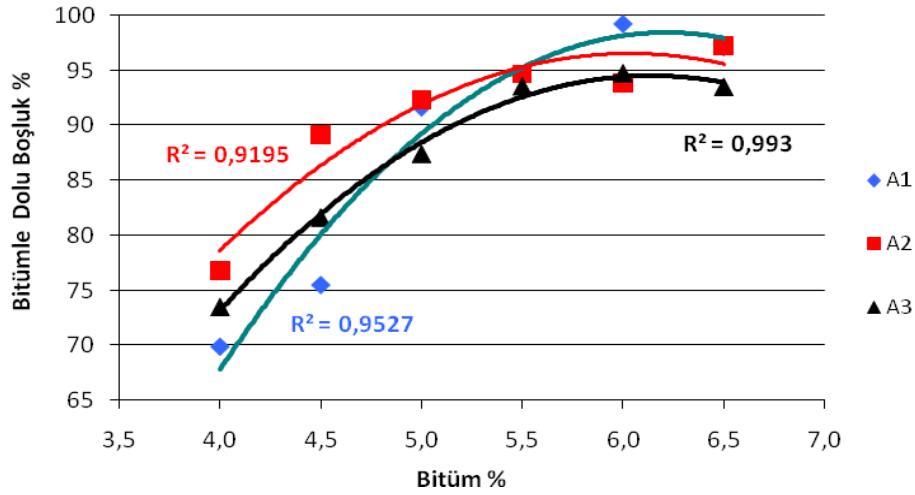
Şekil 4.11. A karışımlarına ait pratik özgül ağırlık – bitüm % ilişkisine ait sonuçlar



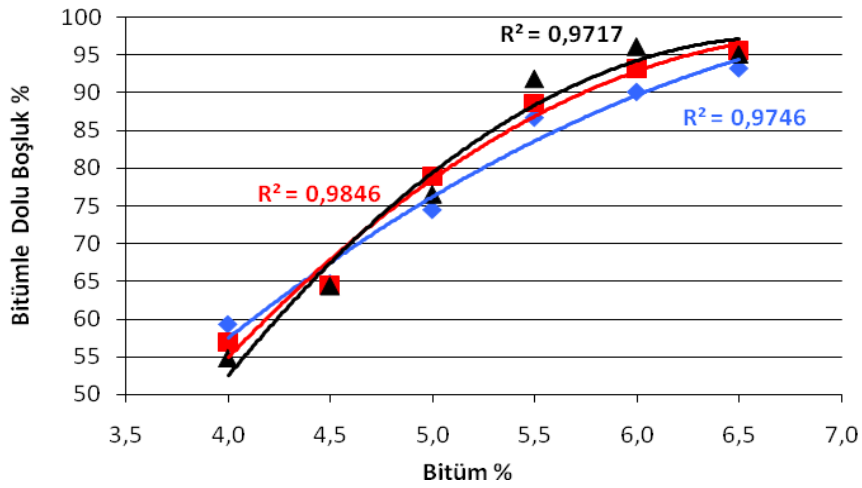
Şekil 4.12. B karışımlarına ait pratik özgül ağırlık – bitüm % ilişkisine ait sonuçlar

Bitümle dolu boşluk karışımın plastisite, durabilite ve sürtünme katsayısı gibi özellikleri kontrol etmekle birlikte agrega taneleri etrafında da kati bir bitüm filmi teşekkülü sağlar. B u da soyulma, sökölme ve hava tesirlerine karşı dayanım açısından oldukça önemli bir özelliktir. A₁, A₂ ve A₃ karışımlarında optimum bitüm miktarlarına karşılık gelen bitümle dolu boşluk oranları sırasıyla %76, %73 ve % 76 olarak elde edilirken, B₁, B₂ ve B₃ karışımlarında sırasıyla % 75, % 72 ve % 74 olarak elde edilmişlerdir. Agrega numunelerindeki toz miktarı en yüksek olan A₃ karışım numunelerinde değişmemekle birlikte, agrega yüzeyinde toz miktarının artışıyla birlikte bitümle dolu

boşluk yüzdelerinde de azalma görülmektedir. Azalma B serisi karışımlarda daha kararlıdır. Dolayısıyla agrega toz içeriğinin artmasıyla birlikte karışımların durabilitelerinin de azalacağı söylenebilir. Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te A ve B serisi karışımlara ait bitümle dolu boşluk % – bitüm % ilişkileri görülmektedir.

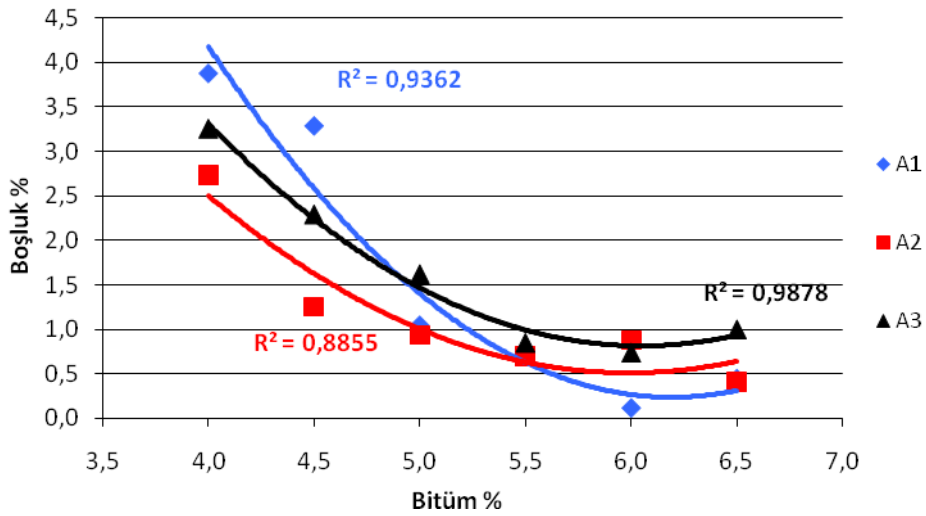


Şekil 4.13. A karışımlarına ait bitümle dolu boşluk % – bitüm % ilişkisine ait sonuçları

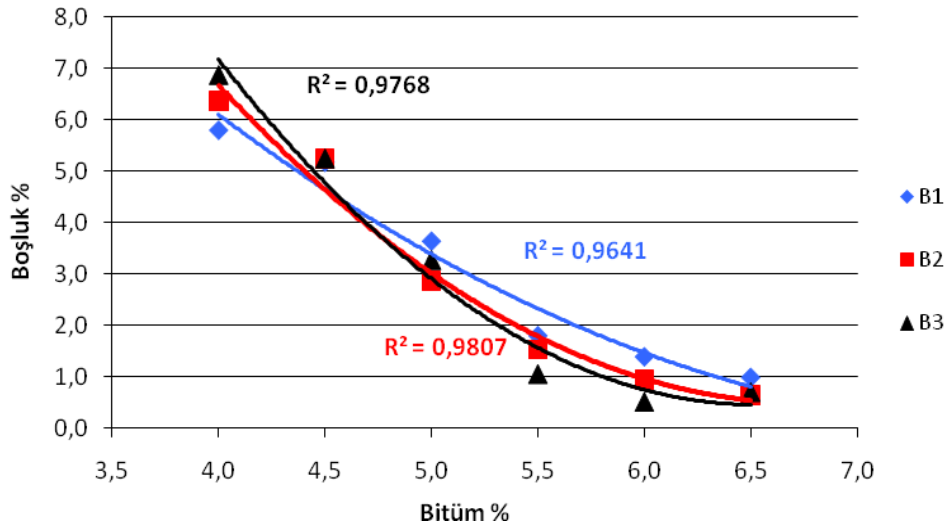


Şekil 4.14. B karışımlarına ait bitümle dolu boşluk % – bitüm % ilişkisine ait sonuçlar

Önemli bir diğer bitümlü sıcak karışım özelliği de boşluktur. Bitümlü sıcak karışımlarda şartnamelerde boşluk için bir alt bir de üst sınır tanımlanmıştır (TCK, 2006). Şayet boşluk şartname sınırlarının üstüne çıkarsa stabilite de düşme ve kaplama da erken bozulma görülebilir. Bununla birlikte sıcak iklimlerde kuma bozulması kontrolünün sağlanabilmesi için karışımda bir miktar boşluk olmalıdır (Akbulut vd., 2011). A₁, A₂ ve A₃ karışımlarında optimum bitüm miktarlarına karşılık gelen boşluk % leri sırasıyla %3.0, %2.5 ve % 2.8 olarak belirlenmiştir. B₁, B₂ ve B₃ karışımlarında ise sırasıyla % 3.4, %3.8 ve %3.3 olarak belirlenmiştir. A₂ ve A₃ karışımlarında şartname sınırından (% 3.0) daha düşük boşluk %'si elde edilmiştir. Bununla birlikte diğer karışımlardaki boşluk %'si şartname sınırları içerisinde. A₂ ve A₃ karışımlarındaki agregalardaki toz içeriğinin filler etkisi yaparak boşluğu azalttığı düşünülmektedir. B karışımlarında ise toz içeriği yapışmayı azaltarak sıkışmanın azalmasına dolayısıyla boşluğun giderek artmasına neden olmuştur. Şekil 4.15 ve 4.16'da sırasıyla A ve B serisi karışımlara ait boşluk % – bitüm % ilişkileri görülmektedir.

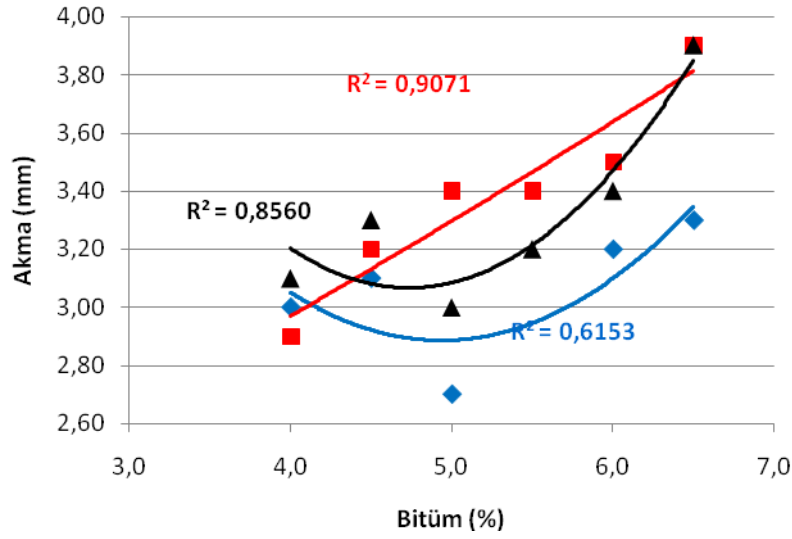


Şekil 4.15. A karışımlarına ait boşluk % – bitüm % ilişkisine ait sonuçlar

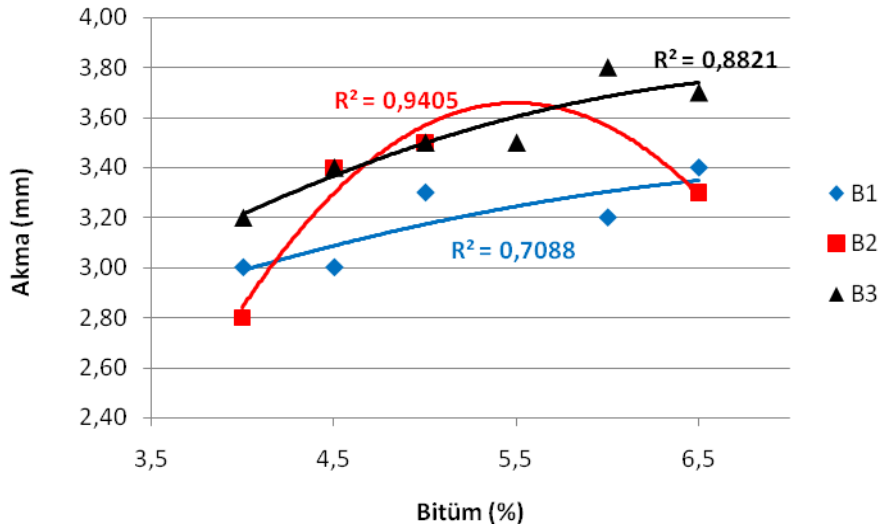


Şekil 4.16. B karışımlarına ait boşluk % – bitüm % ilişkisine ait sonuçlar

Marshall yöntemiyle dizaynlarda kontrol amaçlı olarak akma – bitüm % ve mineral agrega içerisindeki boşluk % - bitüm % grafiklerinden faydalanılır. Bitümlü sıcak karışımlar için önemli bir özellik de akma'dır. Karışımın plastiklik ve esneklik özellikleri hakkında fikir verir, sıkışmış karışımların iç sürtünmelerinin bir ölçüsüdür (Gürer, 2005). A1, A2 ve A3 karışımlarında optimum bitüm %'sine karşılık gelen akma miktarları sırasıyla 2.92, 2.96 ve 3.14 mm iken B1, B2 ve B3 karışımlarında 3.16, 3.40 ve 3.48 mm olarak belirlenmiştir. Tüm akma değerleri şartname sınırları içerisinde (TCK, 2006). Dolayısıyla elde edilen akma sonuçlarına göre karışımda kullanılan agregalarda toz içeriğinin artışıyla birlikte karışımın içsel sürtünmesinin azaldığı ve plastik deformasyona karşı daha eğilimli olmaya başladığı düşünülmektedir. Şekil 4.17 ve 4.18'de sırasıyla A ve B serisi karışımlara ait akma – bitüm % ilişkileri görülmektedir.



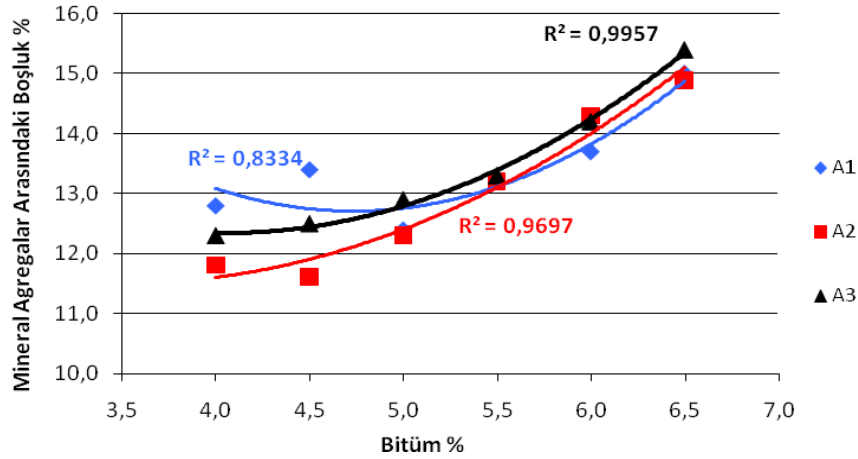
Şekil 4.17. A karışımlarına ait akma– bitüm % ilişkisine ait sonuçlar



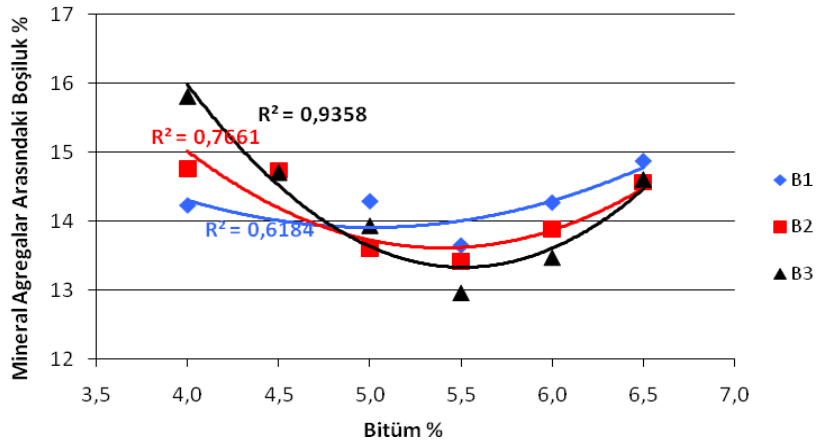
Şekil 4.18. B karışımlarına ait akma– bitüm % ilişkisine ait sonuçlar

Bitümlü sıcak karışım içerisindeki agregalar arasındaki bitüm filmi hacmi ile boşluk hacminin toplamı mineral agregalar arasındaki boşluğu oluşturur (Çetin, 2007). Mineral agregalar arasındaki boşluk agreganın bitüme kenetlenmesi ve durabilite açısından önemli bir özelliktir (Gürer, 2005). A ve B serileri için optimum bitüm %'sine karşılık gelen mineral agregalar arasındaki boşluk sırasıyla %12,8, %11,6, % 12,4 ve % 13,9, % 14,0, % 13,7 olarak elde edilmiştir. Genel itibari ile agregalardaki toz içeriğinin artmasıyla birlikte agregalar arasındaki boşluğunda azalmaya başladığı görülmektedir.

Bunun en önemli nedeninin agregalar üzerindeki tozun mevcut bitümü emmesi olarak düşünülmektedir. Şekil 4.19 ve 4.20’de sırasıyla A ve B serisi karışımlara ait akma – bitüm % ilişkileri görülmektedir.



Şekil 4.19. A karışımlarına ait VMA– bitüm % ilişkisine ait sonuçlar

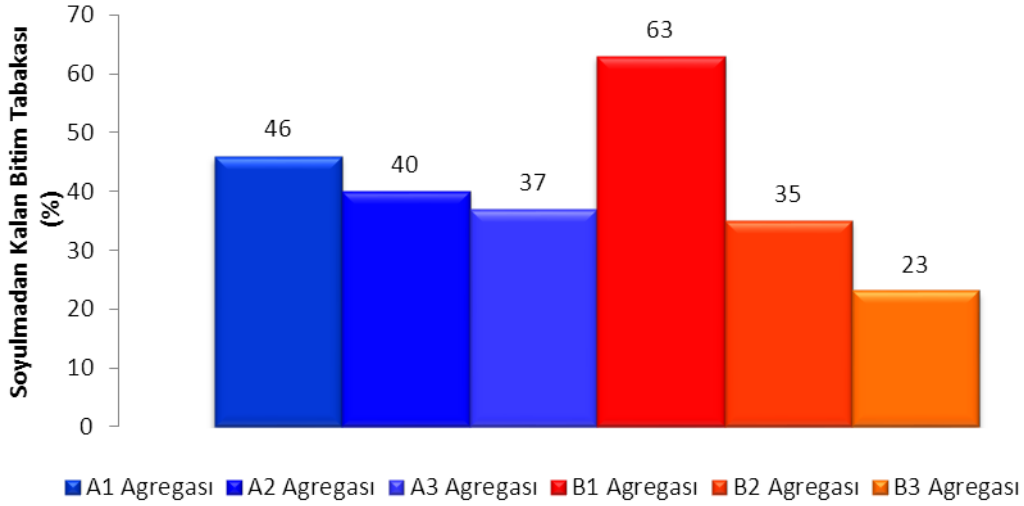


Şekil 4.20. B karışımlarına ait VMA– bitüm % ilişkisine ait sonuçlar

4.2.3. Soyulma Deney Sonuçları

Suyun etkisiyle bitüm film tabakasının agregadan soyulması sonucunda karışımın stabilitesi ve kohezyonu azalır. Bu nedenle bu deney ile agregaların soyulma dirençleri

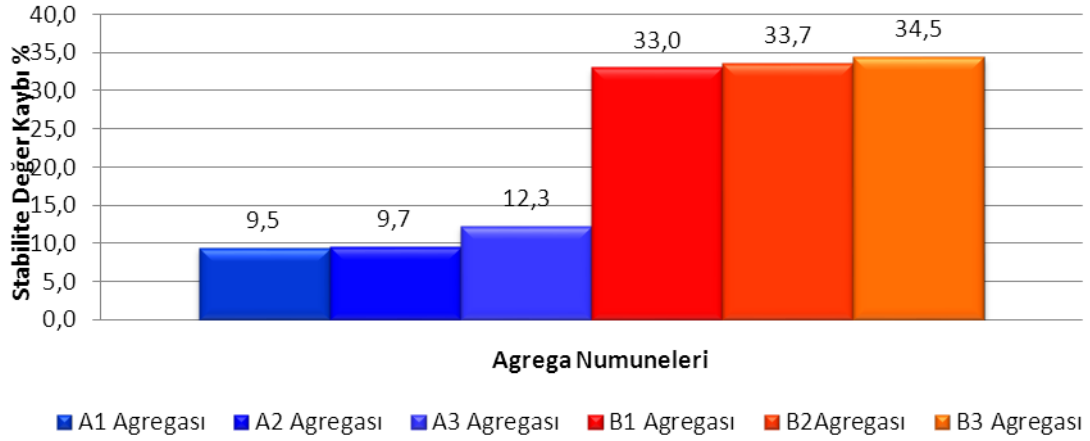
hakkında fikir edinilir. Şekil 4.21’de soyulma deneyi sonuçları görülmektedir. Yapılan deneyde B agregasının A agregasına göre soyulmaya karşı direncinin daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.21. Soyulma deneyine ait sonuçlar

4.2.4. Mekanik Batırma Deney Sonuçları

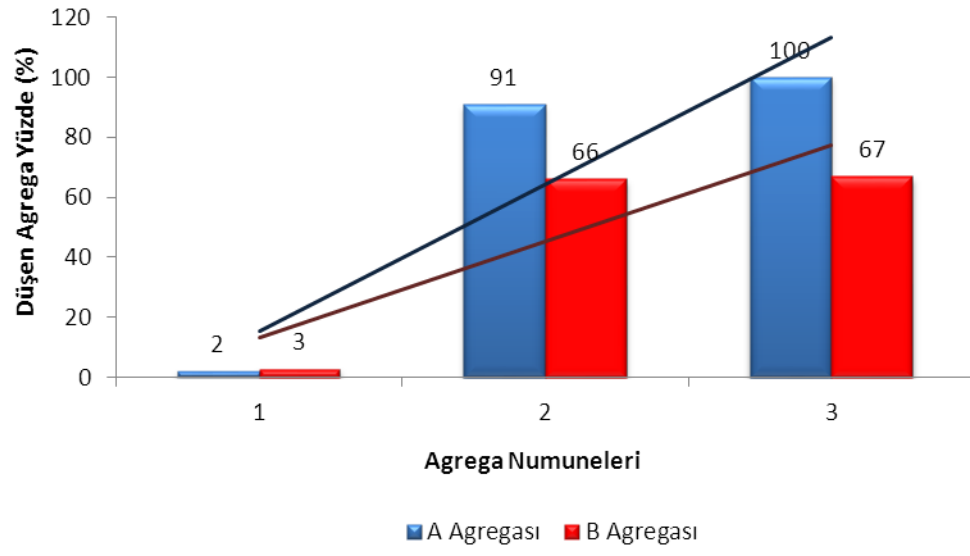
Bitümlü sıcak karışımlarda soyulmanın önemli bir göstergesi de Mekanik batırma deneyi olarak bilinen deneyle dolaylı olarak anlaşılabilir. Agregada üzerindeki tozun bir diğer önemli etkisi de suyun etkisi ile meydana gelen soyulmadır. Tozun bitümlü sıcak karışımlarda bitüm filmi soyulmasını nasıl etkilediğini belirlemek için bu deney gerçekleştirilmiştir. Buna göre A ve B serisi agregada numunelerinin her ikisinden üretilen sıcak karışım biriketlerinin stabilite kaybı değeri, agregada numunesi üzerindeki toz filmi kalınlığının artışına paralel olarak giderek artmıştır. Mekanik batırma deney sonucu Şekil 4.22’de verilmiştir. Deney sonuçları agregada üzerindeki toz filmi kalınlığı arttıkça karışımın çevresel etkilere olan durabilitesinin de giderek azalacağını göstermektedir.



Şekil 4.22. Mekanik batırma deney sonuçları

4.2.5. Vialit Yapışma Deneyi Sonuçları

Agregalarının bitümle olan yapışma özelliklerinin değerlendirilmesi amacıyla Vialit yapışma deneyi yapılmıştır. Bu deney tüm agrega numuneleri için üç farklı şekilde uygulanmıştır. Birinci aşamada agrega numuneleri standartta belirtildiği gibi (BS EN 12272-3,2003) temiz olarak deneye tabi tutulmuştur. İkinci aşamada agregalar orta tozlu olarak kullanılmış ve üçüncü aşamada agregalar yüksek tozlu olarak kullanılmıştır. Deney sonuçları Şekil 4.25'te görülmektedir. Buna göre her iki grupta da Senadheera vd. (2006) ve Gürer (2010)'in de belirttiği gibi agrega yüzeyindeki toz miktarı arttıkça düşen mıcır sayısının da önemli miktarda arttığı yani bitüm-agrega adezyonunun azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte iki farklı toz miktarı arasındaki düşen agrega sayıları arasındaki farkın ihmal edilebilir düzeyde olduğu anlaşılmıştır. Bu deney sonuçları ile Nicholson soyulma deneyi sonuçları benzerlik arz etmektedir. Buna göre en fazla soyulan A numunesinde, yapışma deneyi sonunda düşen agrega miktarı da en yüksek düzeydedir.



Şekil 4.23. Vialit yapışma deneyi sonuçları

5. SONUÇLAR

Agrega üzerindeki bulunan toz filminin bitümlü sıcak karışımların mühendislik özelliklerine nasıl etki ettiğini araştırmak amacıyla yapılan deneysel çalışmalar sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Deneysel çalışmalara agregada deneyleri yapılarak başlanmış ve kullanılacak olan numuneler üzerinde özgül ağırlık ve su emme, gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık, iri agregalarda mevcut nem durumu tayini deneyleri yapılmış ve aşınma özelliklerini belirlemek amacıyla darbelenme ve Los Angeles deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılmış olan bu deneylerde A agregasının özgül ağırlık değerleri iri agregada için $2,84 \text{ gr/cm}^3$ ince agregada için $2,81 \text{ gr/cm}^3$ filler için $2,87 \text{ gr/cm}^3$ ve B agregasının özgül ağırlık değerleri iri agregada için $2,72 \text{ gr/cm}^3$ ince agregada için $2,69 \text{ gr/cm}^3$ filler için $2,65 \text{ gr/cm}^3$ olarak bulunmuştur.
- A ve B numunesi üzerinde yapılan su emme deneyinde A numunesinin ortalama su emme değerleri iri malzeme için %0,34 ince malzeme için %0,68 ve B numunesinin ortalama su emme değerleri iri malzeme için %0,80 ince malzeme için %1,40 olarak bulunmuştur. Su emme oranı A numunesine göre yüksek olan B numunesinin sıkışık ve gevşek birim ağırlık değerleri A numunesine göre düşük elde edilmiştir.
- Su emme değerlerine göz önüne alındığında A numunesinin yüzeysel yapısı B numunesinin yüzeysel yapısına göre daha az boşlukludur. Nitekim yapılmış olan mevcut nem durumu tayininde de A numunesinin ortalama mevcut nem değeri % 0,2 iken B numunesinin ortalama mevcut nem değeri % 0,3 olarak bulunmuş ve su emme deneyi sonuçlarını desteklemiştir.
- Yapılmış olan Los Angeles deney sonuçlarına göre A numunesi ortalama aşınma değeri % 23,73 ve B numunesinin ortalama aşınma değeri % 29,09 olarak belirlenmiş ve ASTM C 131-89 ilgili standardında verilen % 30'luk sınır değerinin altında bir kayıp göstermiştir. Ayrıca diğer bir aşınma değeri kaybını

belirlemek amacıyla yapılan darbelenme deneyinde A agregasının ortalama aşınma değer kaybı % 10,23 ve B agregasının ortalama aşınma değer kaybı % 11,41 olarak elde edilmiş ve BS 812 standardında verilen % 18'lik sınır değerinin altında bir kayıp göstermiştir. Bu sonuçlar altında Los Angeles deneyinde ve darbelenme deneyinde elde edilen değerlere göre B agregası aşınma kaybı A agregasına oranla fazla çıktığı gözlenmiştir ve A agregasının B agregasına oranla daha sert olduğu söylenebilmektedir.

- Donma-Çözülme ve donma-çözülme sonrası Los Angeles direnç kaybı deneylerinin sonuçlarına göre tüm agrega numunelerindeki kayıp % 12 değerinden düşüktür. Donma çözülme sonrası en yüksek direnç kaybı B numunesinde görülmüştür. Görülen bu direnç kaybının A numunesinden yüksek olması B numunesinin yüzey yapısının daha boşluklu olduğunu göstermektedir. Nitekim bu sonuç su emme ve mevcut nem durumu deney sonuçlarıyla da desteklenmiştir.
- Yapılmış olan tozlandırmada, numunelerde orta tozlu (%0,3-0,7) derecenin elde edilmesi için 20 dakika ve yüksek tozlu($\geq$ %0,7) derecenin elde edilmesi için 40 dakika micro devalde çevirmesinin yeterli olacağına karar verilmiş ve 40 dakikadan fazla yapılan çevirmelerde tozluluk oranında yüksek oranda bir artış olmadığı ve agreganın yüzeyindeki boşlukların maksimum derecede tozla dolduğu anlaşılmıştır. Ayrıca B agregasının tozluluk oranının maksimum durumdaki değeri %1,11 iken A agregası için bu değer %0,81 olduğundan saptanmış ve bu değerler doğrultusunda B agregasının yüzeysel yapısının A agregasına oranla daha fazla boşluklu olduğu tozlandırma deneyindeki sonuçlarla da kanıtlanmıştır.
- Laboratuvar ortamında üretilen A ve B agregaları numunelerinden Marshall yöntemiyle ağır trafik şartları için sıcak karışım aşınma tabakası dizaynı yapılmış, Marshall Stabilité ve Akma değerleri belirlenmiş, yoğunluk ölçümleri yapılarak grafikleri çizilmiş, standartların belirttiği koşullarda optimum bitüm oranları hesaplanmıştır. A ve B numuneleri için optimum bitüm oranları

sırasıyla 4,35 ve 4,98 olarak hesaplanmıştır. Belirlenen optimum bitüm oranları ekonomik kullanım sınırları içersinde olduğu görülmüştür.

- A ve B serisi agregası numuneleri ile yapılan Marshall Stabilite ve akma deneyi sonuçlarına göre stabilite değerleri $A1 > A2 > A3$ ve $B1 > B2 > B3$ şeklinde elde edilmiştir. A3 ve B3 serisi numunelerdeki stabilite azalması daha belirgin olmuştur. A ve B akma sonuçlarına göre agregası üzerindeki toz miktarı arttıkça plastik deformasyonlara olan eğilim de giderek artmaktadır. Bu artış A numunesindeki tüm serilerde (A1, A2, A3) oldukça belirgin, B numunelerinde yalnızca B3 serisinde belirgindir.
- İki farklı agregası numunesi (A ve B) için hazırlanmış olan iki farklı orandaki toz yüzdeli numunelerin deney sonuçları arasında belirgin bir fark görülmemekle birlikte tozlu ve tozsuz hazırlanan her iki agregası karışım numuneleri arasında, tozlu agregası numuneleri ile yapılan tüm yapışma, soyulma ve bitümlü sıcak karışım deneylerinde olumsuz sonuçlar elde edilmiştir.
- Marshall batırma deneyinden elde edilen sonuçlara göz önüne alındığında yol yüzeyisel ve yüzey altı drenajı iyi bir şekilde yapılmaz ve tüm bunlara ilaveten bitümlü sıcak karışım imalatında tozlu agregası kullanılırsa soyulma nedeniyle oluşacak bozulmaların beklenenden çok daha kısa sürede meydana geleceği düşünülmektedir.
- Nicholson soyulma deneyinde toz, agregası yüzeyindeki bitüm filmin soyulmasında olumsuz etki göstermiştir. Deney sonuçlarına göre agregası yüzeyindeki toz miktarına paralel olarak soyulma miktarının arttığı saptanmıştır.

- Yapılan Vialit yapışma deneyi sonuçları göstermiştir ki, agregada üzerindeki toz miktarı arttıkça bitüm-agrega yapışması önemli ölçüde azalmaktadır. Temiz agregalar ile tozlu agregada numuneleri arasında önemli bir yapışma kabiliyeti farkı görülürken, farklı toz miktarlı numuneler arasında belirgin bir fark görülmemiştir. Vialit yapışma deneyinde A numunesinden düşen agregada sayısı B numunesinden düşen agregada sayısına göre yaklaşık %50 daha fazla düştüğü saptanmış ve tüm durumlar içerisinde düşüş sayılarının birbirlerine paralel oranda artış sergilediği gözlenmiştir.

Yapılan çalışmalar ışığı altında agreganın yüzeysel yapısındaki boşlukların tozla dolu olması durumunda BSK kaplamalarda adezyon bakımından zayıflama olmakta ve BSK kaplamalarda beklenenden daha kısa sürede bozulmalara yol açabilmektedir. Hala günümüzde agregada temizliğini kontrol eden bir sistem bulunmamakta yığından temiz kabul edilerek kullanılan agregada bünyesinde % 0,2-0,3 mertebesinde toz bulundurabilmekte buda adezyonla ilgili bozulmalara zemin hazırlamaktadır. Gelecekte agregada yıkamasını ve kurutmasını otomatik olarak yapacak özel sistemli plantlerin geliştirilmesiyle üretilecek olan bitümlü sıcak karışımların dış etkenlere karşı daha dayanıklı olacağı ve servis ömrünün uzayacağı düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Ahmedzade,P., Alataş,T., Geçkil, T., Siyah Karbonun Asfalt Karışımların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi. Sigma Dergisi, Cilt 25, Sayı 2.
- Akbulut, H., Ünal, O., İçağa, Y., Demir, İ., Zorluer, İ., Ergün, A., (2003). İnşaat Laboratuvar Deneyleri. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Akbulut, H., Gürer, C., Çetin, S., (2009). Andezit Agregasının Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. 5. Uluslararası Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye.
- Akbulut, H., Gürer, C., Çetin, S. (2011). Use of Volcanic Aggregates in Asphalt Pavement Mixes, *ICE Transport*, **164-TR2**: 111-123.
- AkzoNobel,(2010). Adhesion Prometers, *Technical Bulletin*. 27 syf., Chicago.
- Asphalt Institute, (1989). The Asphalt Handbook. Manuel Series No:4 (MS-4), Edition, 608 syf., USA.
- ASTM C 127-88, (1992). Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Coarse Aggregate. American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards, USA.
- ASTM C 131-89, (1992). Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregates by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. Annual Book of ASTM Standards, USA.
- ASTM C 666, (1992). Resistance of Concrete To Rapid Freezing And Thawing. Annual Book of ASTM Standards, USA.

ASTM D 1559–89, (1992). Standard Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. Annual Book of ASTM Standards, USA.

ASTM D5-97, (2003). Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials. Annual Book of ASTM Standards, USA.

ASTM E8M, (1992). Tension Test Annual Book of ASTM Standards. USA.

Bagampadde, U., (2004). On Investigation Of Stripping Propensity Of Bituminous Mixtures. Lisance Thesis, Kungliga Tekniska Högskolan University, Department of Infrastructure and Planning, Sweden.

British Standards Institution, (1993). Method for The Determination of The Indirect Tensile Stiffness Modulus Of Bituminous Mixtures. Draft For Development DD-213, UK.

Bor F., (1977). Ekstraktif Metalurji Prensipleri. Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, Türkiye.

Çavuşoğlu İ., A.O. Yılmaz, İ. Alp ve M. Vıcıl, (2004). Harşit Çayı (Giresun-Tirebolu) Kırılmış Dere Malzemesinin Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. KAYAMEK'2004-VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu.

Çetin,S., (2007).Afyon Karahisar Bölgesi Volkanik Kayaçların Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalarında Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

Çelik, O. ve Yonar, F., (2007). Bitümlü Sıcak Karışımların Performansına Filler Etkisi. 7. Ulaştırma Kongresi Programı, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul.

- Geankoplis C.T., (1993). Transport Processes and Unit Operations. Prentice-Hall International Inc., New Jersey, USA .
- Gürer, C., (2005). Atık Mermer Parçalarının Bitümlü Yol Kaplamalarında Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Gürer, C., (2007). Sathi Kaplamaların Performansına Etki Eden Parametreler. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Semineri – Seminer IV, Isparta.
- Gürer, C., (2010). Sathi Kaplamaların Performanslarına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi ve Performans Modeli Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D., Isparta.
- Gransberg, D., James D.M.B., (2005). Chip Seal Best Practices. In: Chip Seal Performance Measures. NCHRP Synthesis 342. Transportation Research Board, pp.56-60, Washington, D.C.
- Hefer, A. and Little, D., (2005). Adhesion in Bitumen – Aggregate Systems and Quantification Of The Effects Of Water On The Adhesive Bond. Texas Transportation Institute, Texas.
- Karaşahin M, Ağar E., (2004). Sathi Kaplamalar üzerine bir değerlendirme. 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 131-140, Ankara.
- Karaşahin, M. ve Gürer, C., (2007). Sathi Kaplamalar. 106'ncı Eğitim Semineri ASFALT Günleri, Konya Belediyeler Birliği, Konya.

Karayolları Genel Müdürlüğü, (1994). Yollar Fenni Şartnamesi. 435syf., No:170/2, Ankara.

Kök , B. Vural, Yılmaz, M., Yılmaz, M., (2009). Sivas Divriği Çelik Cürufunun Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılabilirliği. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt 30,Sayı 1

L. Francken, (1998). Bituminous Binders and Mixes. Rilem Report 17, USA.

Little, D.N., Jones, D.R, (2003). Chemical and mechanical processes of moisture damage in hot-mix asphalt pavements. Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements-National Seminar. Transportation Research Board, San Diego, California, 360 p.

MEGEP, (2006). İnşaat Teknolojisi, Agregada Deneyleri 2. Ankara.

MEGEP, (2006). İnşaat Teknolojisi, Agregada Deneyleri 3. Ankara.

MEGEP, (2006). İnşaat Teknolojisi, Agregada Deneyleri 4. Ankara.

MEGEP, (2006). İnşaat Teknolojisi, Agregada Deneyleri 5. Ankara.

Senadheera, S., Wm.Tock R., Hossain, M.S., Yazgan, B., Das, S. Jan., 2006. A Testing and Evaluation Protocol to Assess Seal Coat Binder-Aggregate Compatibility. Texas Tech University, Center for Multidisciplinary Research in Transportation. Project Summary Report 0-4362-S, Project 0-4362.

Tarrer, A. R., Wagh, V. (1991). The Effect of the Physical and Chemical Characteristics of the Aggregate on Bonding. SHRP-A/UIR-91-507, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C.

Terrel, R.L. and AI-Swailmi, S., (1989). Summary Report on Water Sensitivity. Strategic Highway Research Program, SHRP-A/IR-89-003, Washington, D.C., USA.

Terrel, R.L. and Shute, J.W., (1994). Water Sensivity of Asphalt- Aggregate Mixes : Test Selection. Strategic Highway Research Program, SHRP-A-403, Washington, D.C., USA.

Tosun, N., (2010). Bitümlü Kaplamalar Uygulama Kitabı. 134 syf., Bursa.

TS 707, (1980). Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi. Ankara.

TS 3526, Agregalarda Özgül Ağtılık ve Su Emme Oranı Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 3529, 1980. Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-1, (2003). Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-2, (2003). Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 3530 EN 933-1/A1, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 1: Tane büyüklüğü Dağılımı Tayini-Eleme Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, 2 syf., Ankara.

Tunç, A., (2007). Yol Malzemeleri ve Uygulamaları El Kitabı. Nobel Yayın Dağıtım, 840 syf., Ankara.

Türkiye Cumhuriyeti Karayolları, (2006). Karayolları Teknik Şartnamesi. 753 syf., Ankara.

Türkyılmaz, A., (2007).Esnek Üstyapılı Karayollarında Koruyucu Bakım Yöntemlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Uluçaylı, M., (2002). Asfalt El Kitabı. İsfalt, 500 syf., İstanbul.

Upeks, (2010). Adezyon Katkıları. Teknik Bülten, 9 syf., Ankara.

Williams, C., (2010). Evaluation of Hot Mix Asphalt Moisture Sensitivity Using the Nottingham Asphalt Test Equipment. Iowa State University, Ames.

Woodside, A. R., Lyle, P., Woodward, W., D., H., Perry, M.,J.,(1998). Possible Problems with High PSV Aggregate of the Gritstone Trade Group. Advances in Aggregates and Armoustone Evaluation, *Geological Society, Engineering Geology Special Puplications*, **13**: 159-167,London.

Yıldırım, M. ve Yılmaz, I., (2002). Yıldız Irmağı Çökellerinin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliklerinin İncelenmesi. Cumhuriyet Üniversitesi, *Mühendislik Fakültesi, Dergisi, Seri-Yerbilimleri* **9 (2)**:181-192.

Yüce, O., (2008). Sathi Kaplamada Kullanılan Agregası ve Bitümlü Maddelerin Yapışma ve Soyulma Özellikleri. Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

İnternet Kaynakları

	Erişim Tarihi
İnt.Kyn.1-www.kalitekontrol.org/agrega/agrega-deneyleri.html.	19.11.2010.
İnt.Kyn.2-www.isoinsaat.com.	17.11.2010.
İnt.Kyn.3-www.soylubeton.com.	12.10.2010.
İnt.Kyn.4- www.scribd.com/doc.	19.11.2010.
İnt.Kyn.5- www.mm.anadolu.edu.tr/kimya/deneyler2/Deney10.pdf.	19.11.2010.
İnt.Kyn.6-preview.studentsn.com/documents/details/74264.	21.10.2010.
İnt.Kyn.7- www.dot.ca.gov/hq/esc/ctms/pdf/Vialit_Test.pdf.	12.10.2010.
İnt.Kyn.8- www.die.gov.tr.	10.09.2010.

ÖZGEÇMİŞ

İsim : Hasan

Soyisim : DOĞAN

Doğum Tarihi : 24.07.1987

Doğum Yeri : Ankara

Evlilik Durumu : Bekar

Yabancı Diller : İngilizce, Macarca

Eğitim Durumu ;

Lise : Bahçelievler Deneme Lisesi, Ankara/Bahçelievler, 2004

Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yapı Öğretmenliği, Afyon, 2008

Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi, Afyon.

Debrecen Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erasmus Programı bir yıllık katılım, Macaristan