

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI KAPLAMA TÜRLERİNİN YÜZEY  
DOKU ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Ali Çağatay YAMANLAR**

**Haziran, 2012**

**İZMİR**

# **FARKLI KAPLAMA TÜRLEİNİN YÜZEY DOKU ÖZELLİKLEİNİN İNCELENMESİ**

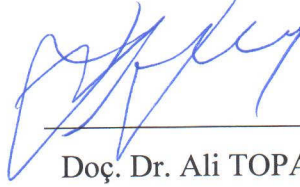
**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Anabilim Dalı**

**Ali Çağatay YAMANLAR**

**Haziran, 2012  
İZMİR**

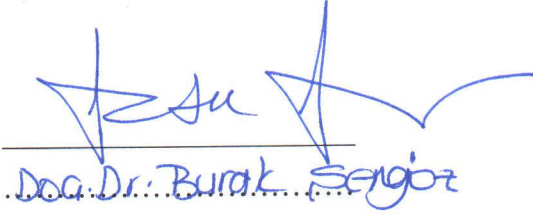
## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ALİ ÇAĞATAY YAMANLAR, tarafından DOÇ. DR. ALİ TOPAL yönetiminde hazırlanan “FARKLI KAPLAMA TÜRLERİNİN YÜZEY DOKU ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



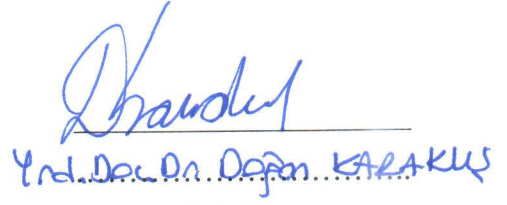
Doç. Dr. Ali TOPAL

Yönetici



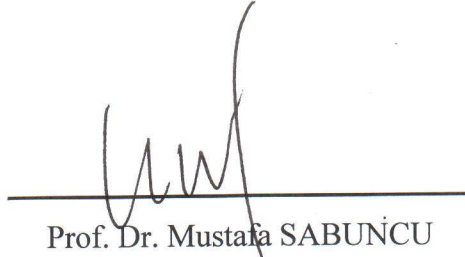
Doç. Dr. Burak SENGÖZ

Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Derya KARAKUŞ

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Lisans eğitimim ve yüksek lisans eğitimim boyunca bana hep destek veren, yol gösterici olan, Ulaştırma Anabilim Dalını sevdiiren, yüksek lisans eğitimime bağlamama vesile olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ali Topal'a,

Tezim ile ilgili her soruma cevap veren, zorlandığım her konuda yardımcı olan hocam Sayın Doç. Dr. Burak Gençöz'e ve tüm üniversite hayatım boyunca hayat ile ilgili hep tavsiye aldığım, başımsızlığında hep fikrine danıştığım hocam Sayın Doç. Dr. Serhan Tanyel'e,

Deneylerim süresince bana her zaman yardımcı olan, bıkmadan usanmadan her soruma cevap veren, Çiğ.Yük. Müh. Çağrı Görkem'e ve Çiğ.Yük. Müh. Bülent Kaçmaz'a,

Yüksek lisans eğitimim boyunca aynı zamanda çalıştığım için, kısıtlı sürelerde yaptığım deney çalışmalarımda hep yanımda olan ve deneylerde yardımlarını esirgemeyen sınıf arkadaşlarımla Çiğ.Müh. Amir Onsoiri'ye ve Çiğ.Müh. Peyman Aghazadeh Dokandari'ye ,

Tüm eğitim hayatım boyunca bana hep destek olan, yardımcı olan, zorlandığım zamanlarda sorunlarıma çare bulup beni motive eden anneme, babama ve kardeşime,

Sonsuz kez teşekkürü bir borç bilirim. Çünkü varsınız.

Ali Çağatay YAMANLAR

# FARKLI KAPLAMA TÜRLERİNİN YÜZEY DOKU ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

## ÖZ

Üstyapılar, esnek ve rijit üstyapılar olmak üzere iki çeşittir. Deney uygulanacak numuneler; rijit kaplamalar için farklı pürüzlendirme yöntemleriyle hazırlanmış, esnek kaplamalar için farklı gradasyonlar ile hazırlanmıştır. Bir yolun en önemli özelliklerinden biri güvenlik ölçütüdür. Yüzey doku özelliklerini ve bu güvenlik ölçütünü belirlemek için makrodoku ve mikrodoku özellikleri incelenmelidir. Bu özellikleri incelemek amacıyla, numuneler üzerinde kum yama, dinamik sürtünme ölçer ve lazerli tarama yöntemi deneyleri uygulanmıştır. Bu deneyler sonucunda “ortalama profil derinliği”, “ortalama doku derinliği” ve “kayma sürtünme katsayıları” bulunup, yüzey özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmam kapsamında, 2. bölümde esnek ve rijit üstyapıların özellikleri, imalatı sırasında kullanılan malzemelerin özellikleri ve esnek ve rijit üstyapıların çeşitleri açıklanmıştır.

3. Bölümde esnek ve rijit üstyapılarda oluşan bozulma türleri açıklanmış, oluşma nedenleri ve gerekçeleri incelenmiştir.

4. Bölümde, deneysel çalışmaların ana teması olan sürtünme kuvveti açıklanmış, kaplamaların yüzey özellikleri ve yüzey pürüzlendirme teknikleri anlatılmıştır.

5. Bölümde ise, deneysel çalışmalar için hazırlanan esnek ve rijit kaplama temsili numunelerin üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri, imalat sırasında kullanılan aletler tanıtılmıştır. Ayrıca, yüzey doku özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deney yöntemleri olan, Kum Yama, Dinamik Sürtünme Ölçer (DFT) ve Lazerli Tarama Sistemi uygulama şartları ile açıklanmış ve deney sonuçları verilmiştir.

6.Bölümde ise deney sonuçları değerlendirilerek, sonuç ve önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Güvenlik, yüzey doku özellikleri, o akrodoku, o ikrodoku, m  
um yama deneyi, dinamik sürtünme ölçer, lazerli tarama, ortalama profil  
derinliği, ortalama doku derinliği, kayma sürtünme katsayıları.

# **EVALUATION OF THE DIFFERENT TYPE OF ROAD SURFACE TEXTURE PROPERTIES**

## **ABSTRACT**

Highway pavements are divided into two main categories; flexible and rigid. Samples, which are applied to the test, for the rigid pavements are prepared by different roughening methods, for the flexible pavements are prepared by using different gradations. Security criteria is the most important feature for the road. Microtexture and macrotexture properties must be investigated for determining the surface texture properties and security criteria. To investigate these properties, sand patch method, dynamic friction tester and laser scanning method are applied to the samples. The result of these applied experiments, “Mean Profile Depth”, “Mean Texture Depth” and “Coefficient of Friction” are existed and texture properties are interpreted.

Scope of this study, at the second chapter; properties of flexible and rigid pavements, properties of materials which are used at construction and types of flexible and rigid pavements are explained.

At the third chapter, deformations which are occurred on the rigid and flexible pavements are explained and the causes of these deformations are investigated.

At the fourth chapter, friction which is the main theme of this experimental study is explained. Also, surface texture properties of pavements and roughening methods are investigated.

At the fifth chapter, properties of materials which are used at production of flexible and rigid samples for experiments and equipments which are used at producing experimental samples are defined. Also, sand patch method, dynamic friction tester and laser scanning which are used for determining the surface texture properties are explained and the results of experiments are determined.

At the sixth chapter, results of experiments are investigated and interpreted.

**Key words:** Security, surface texture properties, macrotexture, microtexture, sand patch test, dynamic friction tester, laser scanning, mean profile depth, mean texture depth, coefficient of friction.



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	vi

### **BÖLÜM BİR– GİRİŞ.....1**

1.1 Genel Bakış.....	1
1.2 Amaç.....	1
1.3 Yöntem ve Kapsam.....	2

### **BÖLÜM İKİ–KARAYOLU YAPISININ TANIMI VE ÜSTYAPI TİPLERİ.3**

2.1 Esnek Üstyapılar.....	3
2.1.1 Giriş.....	3
2.1.2 Esnek Üstyapıların Özellikleri.....	4
2.1.2.1 Esnek Üstyapıların Üstünlükleri.....	6
2.1.2.2 Esnek Üstyapıların Sakıncaları.....	6
2.1.3 Esnek Üstyapılarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	7
2.1.3.1 Agregalar.....	8
2.1.3.2 Hidrokarbonlu Bağlayıcılar ( Bitümler ve Yol Katranları).....	9
2.1.3.3 Karışımlar.....	10
2.1.4 Esnek Üstyapı Türleri.....	11
2.1.4.1 Taş Mastik Asfalt.....	11
2.1.4.1.1 Taş Mastik Asfaltın Yapım Şartları.....	12
2.1.4.1.2 Taş Mastik Asfaltın Uygulama Alanları.....	13
2.1.4.1.3 Taş Mastik Asfaltın Avantajları.....	13
2.1.4.1.4 Taş Mastik Asfaltın Dezavantajları.....	14

2.1.4.2 Poroz Asfalt.....	14
2.1.4.2.1 Poroz Asfaltın Uygulama Alanları.....	16
2.1.4.2.2 Poroz Asfaltın Avantajları.....	17
2.1.4.2.3 Poroz Asfaltın Dezavantajları.....	17
2.2 Rijit Üstyapılar.....	18
2.2.1 Giriş.....	18
2.2.2 Rijit Üstyapıların Özellikleri.....	19
2.2.2.1 Taban Zeminleri.....	20
2.2.2.2 Kaplama Altı Tabakası.....	20
2.2.2.3 Beton Plaklar.....	21
2.2.2.4 Yol Betonu ve Diğer Çeşitli Betonları Arasındaki Farklılıklar... ..	22
2.2.2.5 Rijit Üstyapıların Avantajları.....	23
2.2.2.6 Rijit Üstyapıların Dezavantajları.....	25
2.2.3 Rijit Üstyapılarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	26
2.2.3.1 Çimento.....	27
2.2.3.2 Su.....	27
2.2.3.2.1 Betonun Karma Suyunun Özellikleri.....	27
2.2.3.3 Katkı Maddeleri.....	28
2.2.4 Rijit Üstyapı Türleri.....	30
2.2.4.1 Derzli Donatısız Rijit Üstyapılar.....	30
2.2.4.2 Derzli Donatılı Rijit Üstyapılar.....	31
2.2.4.3 Sürekli Donatılı Rijit Üstyapılar.....	33

## **BÖLÜM ÜÇ-KAPLAMALARDA BOZULMA VE BOZULMA TÜRLERİ..34**

3.1 Bozulma.....	34
3.1.1 Servis Yeteneği İndeksi.....	34
3.1.2 Tekerlek Çi Derinliği.....	35
3.1.3 Çatlak.....	35
3.1.4 Defleksiyon.....	35
3.2 Esnek Kaplamalarda Bozulma Türleri.....	35
3.2.1 Çekil Değiştirme.....	37

3.2.1.1 Oturmalar.....	38
3.2.1.2 Yerel Çökmeler.....	39
3.2.1.3 Tekerlek Çizilme Oluşması.....	39
3.2.1.4 Ondülasyonlar.....	41
3.2.1.5 Kabarmalar.....	41
3.2.1.6 Yığılmalar.....	42
3.2.1.7 Lastik Deseni Oluşması.....	42
3.2.2 Çatlamlar.....	43
3.2.2.1 Timsah Sırtı Çatlaklar.....	43
3.2.2.2 Yorulma Çatlakları.....	44
3.2.2.3 Büzülme Çatlakları.....	44
3.2.2.4 Kenar Çatlakları.....	44
3.2.2.5 Derz Çatlakları.....	45
3.2.2.6 Enine Çatlaklar.....	45
3.2.2.7 Yansıma Çatlakları.....	46
3.2.2.8 Öteleme (Yüzey Kayması) Çatlakları.....	46
3.2.3 Ayırılma.....	47
3.2.3.1 Folluk Tipi Oyuklar.....	48
3.2.3.2 Sökülmeler.....	49
3.2.3.3 Tabaka Halinde Sökülmeler.....	49
3.2.3.4 Soyulma.....	50
3.2.3.5 Kayganlık.....	50
3.2.3.6 Cilalanma.....	50
3.2.3.7 Kusma.....	51
3.3 Rijit Kaplamalarda Bozulma Türleri.....	51
3.3.1 Çatlaklar.....	52
3.3.1.1 Projelendirme Hataları.....	52
3.3.1.1.1 Plak Kalınlığı Yetersizliği.....	52
3.3.1.1.2 Uygun Olmayan Derz Aralıkları.....	53
3.3.1.1.3 İklim Etkisinin Ehmali.....	53
3.3.1.1.4 Ağır Yükleme.....	53
3.3.1.1.5 Betonun Bileşim Hesaplarındaki Hatalar.....	54

3.3.1.2 Çiğat Hataları.....	54
3.3.1.2.1 Erken veya Geç Perdah.....	54
3.3.1.2.2 Derz Yapımındaki Çiğalat Hataları.....	55
3.3.1.2.3 Altyapının Sağlam Olmaması.....	55
3.3.1.2.4 Homojen Olmayan Beton.....	56
3.3.1.2.5 SıkıÇtırma Hataları veya Yokluğu.....	56
3.3.1.2.6 Malzeme Kalitesindeki Yetersizlik.....	56
3.3.1.2.7 Dökülen Betonun Korumadaki Çiğmal ve Yetersizlik.....	56
3.3.2 Çukurlar.....	57
3.3.3 Plak Oturmaları.....	57
3.3.4 Genleşme Derzlerindeki Bozulmalar.....	58
3.3.5 Altyapı Tesis Çiğatının Yol Açtığı Bozulmalar.....	59

## **BÖLÜM DÖRT - ÜSTYAPILARIN YÜZEY ÖZELLİKLERİ.....60**

4.1 Sürtünme Kuvveti.....	60
4.1.1 Boyuna Sürtünme Kuvveti.....	61
4.2 Sürtünme Mekanizmaları.....	63
4.3 Yolların Yüzey Özellikleri.....	65
4.3.1 Megadoku (Megapürüzlülük).....	69
4.3.2 Makrodoku (Makropürüzlülük).....	70
4.3.3 Mikrodoku (Mikropürüzlülük).....	70
4.4 Yüzey Pürüzlendirme Teknikleri.....	70
4.4.1 Rijit Kaplamalarda Pürüzlendirme Yöntemleri.....	71
4.4.1.1 Taze Beton Yüzeyini Pürüzlendirme.....	71
4.4.1.1.1 Çuval Bezi, Süpürge, Suni Çim Halı veya Fırça Çekme.....	71
4.4.1.1.2 Yüzeyde Çiğce Kanallar Açma.....	72
4.4.1.1.3 Yüzeydeki Agregaları Açığa Çıkarma.....	73
4.4.1.1.4 Yüzeye Mıdır Döküp SıkıÇtırma.....	73
4.4.1.1.5 Geçirimli (Poroz) KarıÇımKullanma.....	74
4.4.1.2 Sert Beton Yüzeyi Pürüzlendirme.....	74
4.4.1.2.1 Öğütme.....	74

4.4.1.2.2 Yiv Açma .....	74
4.4.1.2.3 Kum Çarpıtma.....	74
<b>BÖLÜM BEŞ - DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>76</b>
5.1 Esnek Kaplamalar.....	76
5.1.1 Esnek Kaplamalarda Kullanılan Malzemeler Ve Özellikleri.....	76
5.1.1.1 Agregası.....	76
5.1.1.2 Bitüm.....	77
5.1.2 Ekipmanlar.....	78
5.1.2.1 Kalıp.....	78
5.1.2.2 Etüv.....	78
5.1.2.3 Mikser.....	79
5.1.2.4 El Silindiri.....	80
5.1.3 Esnek Kaplamaların Üretiminde Uygulanan Deneyler.....	81
5.1.3.1 TaÇ Maşık Asfalt.....	81
5.1.3.2 Yoğun Gradasyonlu Asfalt.....	86
5.1.3.3 Poroz Asfalt.....	90
5.2 Rijit Kaplamalar.....	91
5.2.1 Rijit Kaplamalarda Kullanılan Malzemeler Ve Özellikleri.....	91
5.2.1.1 Çimento.....	92
5.2.1.2 Agregası.....	92
5.2.2 Kullanılan Ekipmanlar.....	93
5.2.2.1 Kalıplar.....	93
5.2.2.2 Fırça.....	93
5.2.2.3 Çuval.....	94
5.2.3 KarıÇım Ve Döküm.....	94
5.2.4 Taze Ve Sertleşmiş Beton Üzerine Uygulanan Deneyler.....	95
5.3 Deney Yöntemleri.....	96
5.3.1 Kum Yaması (Yüksekliği) Yöntemi.....	96
5.3.2 Dinamik Sürtünme Ölçer Test Yöntemi.....	97
5.3.2.1 Dinamik Sürtünme Ölçer ile Sürtünme Katsayısı Tayini.....	100

5.3.3 Lazer Tarama Sistemi.....	101
5.4 Deneylerin Sonuçları.....	108
5.4.1 Kum Yama Deneyi Sonuçları.....	108
5.4.2 Dinamik Sürtünme Ölçer Yöntemi.....	111
5.4.3 Lazer Tarama Yöntemi.....	113
<b>BÖLÜM ALTI – SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>116</b>
<b>REFERANSLAR-KAYNAKLAR.....</b>	<b>118</b>

# BÖLÜM BİR

## GİRİŞ

### 1.1 Genel Bakış

Ülkemizde oluşankazalar incelendiğinde, bunların bir kısmının yollarda meydana gelen bozulmalar sonucu meydana geldiği görülmektedir. Yollarda oluşan bu bozulmalar incelendiğinde ise hepsi ortak bir paydada bulunmaktadır. Kazalara sebep olan bu bozulmaların ortak özelliği, yol tasarımı ve inşaatı sırasında kazandırılması amaçlanan güvenlilik özelliğini kaybettirmeleridir. Bu durumda, bu güvenlik kıstasının incelenmesi bir zorunluluk hali almıştır. Yeni yapılmış bir yolun güvenlik özelliğinin yorumlanabilmesi de, bu yolun sahip olduğu yüzey doku özelliklerinin belirlenmesine bağlıdır. Farklı kaplama türlerinde bu yüzey doku özelliklerinin nasıl değiştiğini görebilmek bu çalışmanın ana temasını oluşturmuştur.

### 1.2 Amaç

Yol kaplamaları, trafik ve çevre etkilerine karşı koyan ve üzerine gelen trafik yüklerini alt tabakalara ileten yapılardır. Kaplamanın temel amaçları;

- Taşıtlar için sürüş konforu ve sürüş güvenliği sağlamak,
- Trafik yüklerini zarar vermesine imkân vermeden alt tabakalara iletmek,
- Trafik, iklim ve çevre etkilerine karşı dayanıklı, üzerinde oluşabileceklere karşı dirençli olmaktır.

Yol kaplamaları, kullanılan malzemelerin özelliklerine ve yapım metotlarına göre; rijit (beton) kaplamalar, esnek kaplamalar ve bu ikisinin birlikte kullanıldığı kompozit kaplamalar olmak üzere üç çeşittir. Bu çalışmada da üretilen rijit kaplamalarda bağlayıcı malzeme olarak Portland çimentosu, esnek kaplamalarda ise asfalt çimentosu kullanılmıştır.

Yeni yapılmış veya kullanılmakta olan bir yol için, yolun yüzey özelliklerinin belirlenmesi konusunda en önemli ölçüt, güvenlidir. Esnek ya da rijit kaplamalı bir yol üzerinde belirli bir hızda hareket eden taşıtın, tekerlek lastiği ile yol yüzeyi arasında oluşan kayma sürtünme katsayısının belirli bir seviyede olup olmaması, yolun güvenli olup olmadığı hakkında bilgi verir. Bu çalışmada önemli bir özellik olan güvenlik ölçütlerini belirleyebilmek için farklı pürüzlendirme yöntemleri ile pürüzlendirilmiş rijit kaplamaların ve farklı gradasyonlarla oluşturulan esnek kaplamaların, yüzey dokuları ve kayma sürtünme katsayıları belirlenmeye çalışılmıştır. Farklı teknikler kullanılarak elde edilen rijit ve esnek üstyapı kaplamalarının bağlanış yüzey doku özellikleri değerlendirilerek güvenlik açısından kaplama tipi ve pürüzlendirme yöntemi seçimine yönelik değerlendirmeler yapılabilecektir.

### 1.3 Yöntem ve Kapsam

Rijit kaplama türlerinden, fırça ile pürüzlendirilmiş, çuval ile pürüzlendirilmiş, pürüzlendirilmemiş ve dökümü yapıp, priz almaya bağladıkandan sonra üstüne basınçlı su uygulanarak agregaları ortaya çıkaran “Wash” yani yıkanmış beton yol numuneleri hazırlanmıştır. Esnek kaplama olarak, yoğun gradasyonlu asfalt, taç mastik asfalt ve poroz asfalt numuneleri hazırlanmıştır.

Farklı kaplama türlerinin yüzey doku özelliklerinin belirlenmesi konusunda mikrodoku ve makrodoku özellikleri ön plana çıkmıştır. Yüzey doku özelliklerini incelemek amacıyla kum yama deneyi ile “Ortalama Doku Derinliği” (MTD – Mean Texture Depth) belirlenmiştir. Lazerli yüzey tarama sistemi ile “Ortalama Profil Derinliği” (MPD – Mean Profile Depth) belirlenmiştir. Ayrıca dinamik sürtünme ölçer (DFT – Dynamic Friction Tester) ile kayma sürtünme katsayıları belirlenmiştir. Farklı kaplama yüzeylerinden elde edilen bu değerler karşılaştırılarak, yol yüzey kaplamalarının bağlanış mikro ve makrodoku özellikleri ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.



## **BÖLÜM İKİ**

### **KARAYOLU YAPISININ TANIMI VE ÜSTYAPI TİPLERİ**

Karayolu üstyapısı, önceden belirlenen geometrik standartlara uygun olarak saptanmış olan bir güzergâh boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere getirilebilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor koşullarında hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşaedilen yapıların tümü olarak tanımlanabilir (İlçalı, M. ve diğer., 2001).

Karayolu yapısı; görevi, yapım sırası ve özellikleri açısından iki ayrı bölüm olarak ele alınabilir.

#### **2.1 Esnek Üstyapılar**

##### **2.1.1 Giriş**

Esnek üstyapılar, oluşturulan tesviye yüzeyi ile etkileşim halinde olup üzerine gelen yükleri tabana dağıtır. Esnek üstyapılar; bağlayıcısız alt temel ve temel malzemeleri üzerinde bitümlü sıcak karışımla birleşmiş tabakalardan veya bitümlü sathi kaplamalardan oluşmaktadır.

Esnek kaplamaların dayanıklılığı, agregaların birbirine iyi şekilde kenetlenmesine, daneler arası sürtünmeye ve aralarındaki koheziona bağlıdır. (Avcı, E. 2009).

Bir karayolu üstyapısından beklenen özellikler, üzerindeki trafiği ekonomik ve güvenli bir şekilde taşıması olarak özetlenebilir. Güvenlik ölçütü, kaplamanın yüzeyi ile araç lastiği arasında oluşan sürtünmeye bağlıdır. Ekonomi ölçütü ise imalat esnasında kullanılacak malzemelere, inşaat maliyetlerine ve taşıma maliyetlerine bağlıdır (Avcı, E. 2009).

Esnek üstyapı, genellikle asfalt çimentosu ve belirli gradasyonlardaki agreganın gerektiğinde modifiye edici katkı malzemeleri ile belirli oranlarda birleşimiyle elde edilir.

### **2.1.2 Esnek Üstyapıların Özellikleri**

Esnek üstyapı, temel tabakası, alt temel tabakaları ve ağızma tabakasının birleşiminden oluşan tabakalı bir sistemdir. Üstyapının, ağızma tabakasından taban zeminine doğru inildikçe, tabakaların imalatında kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri, dayanıklılığı düşer.

Bu tabakaların oluşturulmasında:

- Proje ömrü
- Üzerinde oluşacak trafiğin hacmi
- Mevcut malzemenin durumu
- Taban zemininin dayanımı

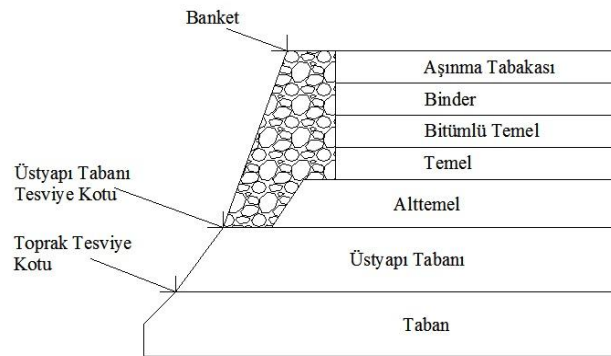
gibi kriterler göz önünde bulundurulmaktadır (Avcı, E. 2009).

Bir esnek üstyapıda, en üstte bulunan tabaka, ağızma tabakasıdır. Ağızma tabakası, trafiğin güvenli ve konforlu geçişini sağlayan, emniyet için gerekli kayma dayanımını sağlayan, trafiğin düzenini bozmayacak düzgünlükte ve konforda bir yüzey tabakası sağlayan tabakadır. Bunun yanında, ağızma tabakalarının, taçlardan su sıçratmayacak ve yol yüzeyindeki su birikimlerinin oluşturmayacak drenaj özelliğine sahip olması gereklidir.

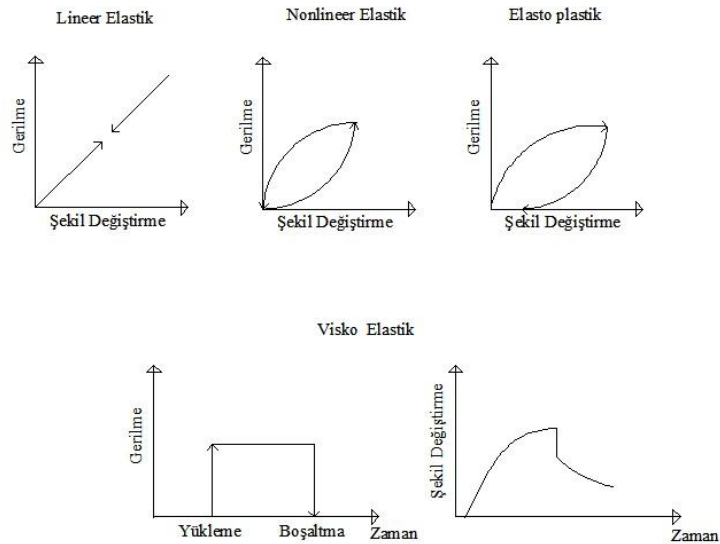
Ağızma tabakasının alt kısmında, üstyapının bulunduğu doğal zemini koruyan temel tabakası bulunur. Temel tabakası üzerine gelen yükleri taşıma gücü sınırları doğrultusunda yaymakla görevlidir.

Alt temel tabakası, temel tabakasının altında bulunur. Alt temelin ana görevi, üzerinde oluşturulacak tabakaların imalatı için uygulama sahası oluşturmaktır. Alt temel tabakasında kullanılan malzemeler de aşınma ve temel tabakasına göre daha düşük kaliteli malzemedir.

Farklı tabakalarda kullanılan malzemeler farklı davranış göstermektedir. Temel ve alt temel tabakalarının imalatında kullanılan malzemeler non-lineer elastik davranış gösterirler. Aşınma tabakasında ise sıcaklık ve yükleme hızı farklılıkları altında visko-elastik davranış gösteren bitümlü karışımlar kullanılmaktadır (Avcı, E. 2009).



Şekil 2.1 Tipik bir esnek üstyapı enkesiti



Şekil 2.2 Malzeme davranışları

### 2.1.2.1 Esnek Üstyapıların Üstünlükleri

Esnek kaplamalar, trafik için düzgün, güvenli konforlu ve gürültüsüz bir yüzey oluştururlar. Esnek kaplamalar, yüzeylerinin aşınmasına ve taşıtlardan gelen yüklerin oluşturduğu bozulmalara karşı dirençlidirler. Yüzeyleri kuru olduklarında sürtünme katsayıları yüksektir. Belirli bir stabilite ve rijitliğe sahip olduklarından yükü alt tabakalara yayarlar. Yüzeylerin geçirimsizliğini sağlarlar. Kademeli inçaat uygulamalarına karşı elverişlidirler. Trafik akışı kesilmeden bakım ve onarım işlemleri yapılabildiği için servis yolu açılmasına ihtiyaç duyulmaz.

İmalatlarının tamamlanmasından birkaç saat sonra trafiğe açılabilirler. Esnek üstyapı imalatı diğer kaplama imalatlarına göre daha kolaydır. Esnek kaplamaların bakım uygulamaları kolaydır fakat daha sık bakım gerektirir (Umar, F. ve Ağar, E. 1991).

### 2.1.2.2 Esnek Üstyapıların Sakıncaları

Esnek kaplamalarda bağlayıcı malzeme olarak kullanılan asfalt, termoplastik özellik gösteren bir maddedir. Sıcaklığa bağlı olarak değişik özellikler gösterirler. Asfaltın bu özelliği, asfalt karışımının özelliklerinde de görülür (Umar, F. ve Ağar, E. 1991). Bu nedenle asfalt betonunun hazırlanması, dökümü, sıkıştırılması esnasında Çıatnamede belirtilen sıcaklık derecelerine uyulması gerekir. Gerekli olan bu sıcaklıklarda meydana gelecek değişiklikler, esnek kaplamanın dayanımı ve proje ömrü üzerinde değişikliğe neden olacaktır.

Esnek kaplamanın, gerilme ve deformasyon özellikleri, yükleme hızına ve sıcaklığa bağlı olarak değişim gösterir. Üstyapı projelendirme yöntemleri ise elastiklik varsayımı esas alınarak uygulanır. Bu sebeple esnek üstyapıların projelendirmesi daha karmaşık bir yapıya sahiptir (Umar, F. ve Ağar, E. 1991). Bu karışık durum yolun takviye edilmesi sırasında da kendini gösterir. Yol takviyesi tasarlanırken yolun taşıma gücü açısından en olumsuz durumdaki özellikleri göz önüne alınır. Esnek kaplamalar genellikle, ilkbahar mevsimi aylarında oluşan

donların çözülmesi ve sonbahar mevsimi aylarında meydana gelen fazla yağmur yağışı altında büyük bozulmalar geçirir. Esnek kaplamalar asfalt betonunun özelliği dolayısıyla yaz mevsiminde sıcaklıkların artması ile taşıma gücünde düşüğe gösterir. Bu sebeple, kaplamanın inşaeedilecek bölgenin özelliklerine göre hangi mevsimde en zayıf durumda olduğuna karar vermek gerekir.

Karığında kullanılan asfaltın yapısı, kaplamanın imalatının tamamlanmasından belli bir süre sonra, asfaltın yapısı içindeki uçucu maddelerin uçması ve hava şartları altında okside olması ile bozulur. Bu olaya asfaltın yağlanması denir. Yağlanma bitümün sertleşmesi, daha az elastik davranış göstermesi, agregaya karşı bağlayıcı özelliğinin azalması şeklinde görülebilir. Bitümlü bağlayıcısı yağlanmış olan kaplama, daha kırılğan ve dayanıksız bir yapı gösterir. Ayrıca, vasıtalardan yola dökülen yakıt maddeleri de esnek kaplamanın kimyasal özelliklerini değıştirir. Diğer yandan soğuk hava şartları olan yerlerde buzlanmayı ve kar birikimini önlemek için kullanılan tuz ve benzeri maddeler de, esnek kaplama yüzeyinde deformasyon oluşmasına neden olur.

Esnek kaplamaların inşaeedileceğı tabii zeminin kuru veya en fazla %2 oranında nem bulundurması gerekir. Bu durum, iklim olarak fazla yağış alan bölgelerde esnek kaplamaların, inşaat süresinin kısalmasına neden olur (Umar, F. ve Ağar, E. 1991).

Esnek kaplamaların karışım, dökümü, serme ve sıkıştırılması gibi uygulama aşamalarında belirli sıcaklık kısıtlamaları var olduğundan fazla enerji tüketilmesi gerekmektedir (Umar, F. ve Ağar, E. 1991).

### ***2.1.3 Esnek Üstyapılarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri***

Esnek üstyapıların oluşturulmasında ana malzeme olarak yükleri karşılayacak agrega ve agregaların birbirine bağlanmasını sağlayacak bitümlü bağlayıcı kullanılmaktadır (Dündar, G., 1998).

### 2.1.3.1 Agregalar

Agregalar, genellikle doğal kaynaklardan elde edilir veya yapay olarak oluşturulur. Agregalar tane boyutlarına göre,

- İri Agregalar
- İnce Agregalar
- Mineral Filler

olmak üzere üç gruba ayrılırlar.

*“Yol inşaatında doğal taş malzeme kaynaklarından, püskürük, tortul ve metamorfik kayalardan kırma, eleme ve bazen yıkama işlemleriyle elde edilen diyorit, diyabaz, trakit, bazalt, kalker, kireçtaşı, dolomit, kumtaşı, çakmaktaşı kökenli agregalar, ayrıca mekanik dirençleri yüksek olan kum ve çakıl gibi doğal agregalar kullanılmaktadır. Esnek yol üstyapılarında kullanılan yapay agregalardan en tanınmışları, temel ve alt temel tabakalarında kullanılan yüksek fırın cürufları, karışımlarda agrega olarak kullanılan klinkerler, filler olarak kullanılan çimentolardır” (Giriş, Ü. 2009).*

Agregaların özelliklerinin gerekli değerleri sağlayıp sağlamadığını incelemek için kullanılan en yaygın deney yöntemleri şunlardır:

- Tane Dağılımı ( Granülometri ) Deneyi
- Aşınmaya Karşı Direnç Deneyi
- Hava Etkilerine Karşı Dayanıklılık (Donma - Çözülme) Deneyi
- Cilalanma Direnç Deneyi
- Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi
- Soyulmaya Karşı Direnç Deneyi

Karışınlarda kullanılan iri agregaların bitümlü bağlayıcı ile iyi bir kenetlenme oluşturabilmesi için yüzeylerinin temiz olması gerekir. Bu yüzden esnek kaplamalarda kırmatağ (mıçır) tercih edilmesi daha uygundur (Giriş, Ü. 2009).

### 2.1.3.2 Hidrokarbonlu Bağlayıcılar ( Bitümler ve Yol Katranları)

Yol üstyapısı uygulamasında bağlayıcı olarak bitüm veya katran olmak üzere iki tür bağlayıcı kullanılmaktadır. Bunlar sıcaklığın artışına doğru orantılı olarak katı, yarı katı veya sıvı halde bulunurlar. Bağlayıcıların en önemli özelliği adhezyon ve kohezyondur (Giriş, Ü. 2009).

Asfaltlar, üretildikleri kaynaklar bakımından:

- Doğal asfalt kaynaklardan veya
- Rafine asfalt kaynaklardan

elde edilirler. Genellikle yol inşaatı uygulamalarında, maliyeti açısından, petrolün damıtılması yöntemiyle elde edilen bitümler kullanılmaktadır. Bitümlerin daha iyi performans göstermesi açısından çeşitli kimyasal katkı maddeleri kullanılabilir. Bu amaçla üretilen likit (katbek) asfaltlar ve asfalt emülsiyonları katkı maddeleri yardımıyla üretilen bitüm türlerine örnek olarak gösterilebilir.

Hidrokarbonlu bağlayıcıların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için kullanılan deneylerden bazıları şunlardır:

- Özgül Ağırlık Ölçüm Deneyi
- Akışkanlık Özelliklerinin Saptanması Deneyleri
- Viskozite Deneyi, ve Penetrasyon Deneyi
- Yüzdürme Deneyi ve YumuşamaNoktası Deneyi
- Düktilite Deneyi ve Yanma Noktası Deneyi
- Damıtma ( Distilasyon ) Deneyi

Bitümün agregaya olan kenetlenmesinin artırılması için, karışımda kullanılan bitüme dop eklenir. Dop maddeleri, karışımındaki fazla bitümün tutulmasını sağlar ve agregaların süzülmesini engeller. Dop maddeleri, düşükviskoziteli bitümler, ayrıca katbek asfaltları için faydalıdır (Giriş, Ü. 2009)

### 2.1.3.3 Karışımlar

Karışımlar veya bitümlü karışımlar, trafik şartlarına göre tasarımı ve belirli gradasyonu oluşturulan malzemelerin belirli ısı altında karıştırma işleminin uygulanması ile oluşturulan kompozit malzemelerdir (Giriş, Ü. 2009)

Bitümlü karışımlar:

- Trafik yüklerinin taban zeminine düzgün bir şekilde yayılmasını sağlar.
- Düzgün bir yüzey oluşturur.
- Kenetlenmemiş (serbest) agrega bulunan yüzeylerde taşıt tekerleklerin taşı fırlatmasına engel olur.
- Düzgün bir yüzey oluşturması sebebiyle üzerinde biriken suyu yol yüzeyinden çabuk uzaklaştırır, ayrıca geçirimsiz bir yol yüzeyi elde edilmesini sağlar.

Bitümlü karışımlar ile tabaka kalınlıkları 2 ile 12 cm arasında değişen kaplama türleri üretmek mümkündür. Türkiye'de çoğunlukla:

- Yüzeysel kaplama
- Asfalt betonu kaplama
- Sıcak bitümlü temel

türündeki karışımlar kullanılmaktadır (Giriş, Ü. 2009).

Bitümlü karışımlarda, ana kural olarak altı tür özelliğin bulunması istenir. Bunlar:



- TaÇıt üzerinden üstyapıya uygulanan dinamik yüklere karÇı gösterilen stabilite direnci,
- Alt tabakalarda oluÇan deformasyonlar nedeniyle bitümlü tabakalara etkiyecek genel deformasyon eğilimine karÇı etki yapacak olan esneklik yeteneği,
- Trafik hacminin artmasına, suyun varlığına, iklim Çatlarının ve sıcaklık değiÇimlerinin etkilerine ve aÇınmaya karÇı koyabilecek olan dayanıklılık özelliği,
- Güvenlik ölçütünün oluÇması için inÇaat sonunda oluÇturulan yüzey pürüzlülüğün korunması için cilalanmaya ve kaymaya karÇı drenç yeteneği,
- Üretilen malzemenin istenilen akıÇkanlıkta, istenilen düzgünlükte, mümkün olan en az sıkıÇtırma enerjisiyle yerleÇtirilmesi için gereken iÇlenbilirlik özelliği,
- Yüzeye gelen yağmur sularının altta bulunan tabakalara ulaÇıp, etkilemesini önleyecek geçirimsizlik yeteneğidir. (GiriÇ, Ü. 2009)

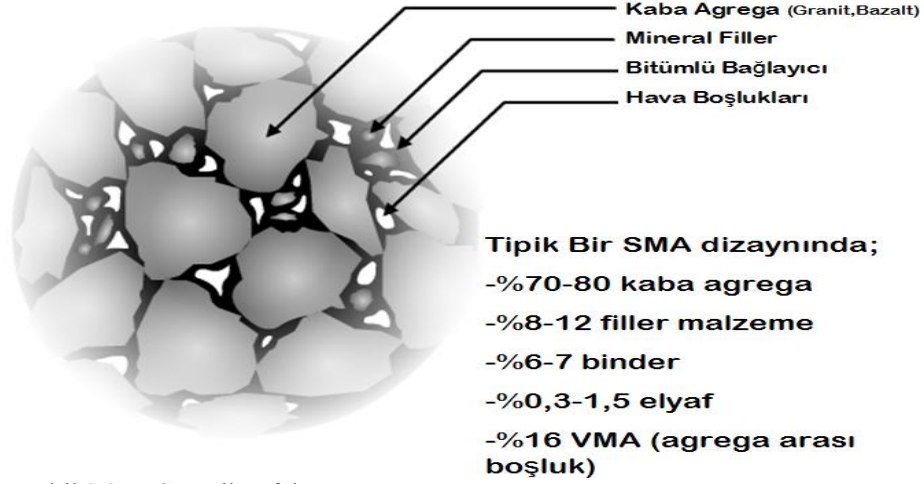
#### 4006'Çıp gmiÇıncı, 'VÄt rgtk

"

##### 2.1.4.1 TaÇ Mastik Asfalt

TaÇmastik asfalt, esnek kaplamalar için bir karıÇımtasarımıdır. Çık olarak soğuk hava Çatlarında trafiğin etkilerine dayanım kazandırmak amacıyla geliÇtirilmiÇtir. Daha sonra da taÇmastik asfalt kullanılmaya ve geliÇtirilmeye devam edilmiÇtir, çünkü uygulanan taÇmastik asfalt, asfalt betonu aÇınma tabakasına göre daha iyi performans göstermiÇtir (Uluçaylı, M. bt).

Bu geliÇmeleø sonucunda 1984 yılında Almanya'da standart geliÇtirilmiÇtir. Almanya'dan sonra taÇmastik asfalt kaplamalar Avrupa, Kuzey Amerika ve Asya'da da kullanılmaya baÇlanmÇtir (Uluçaylı, M. bt).



Şekil 2.3 Taş mastik asfaltın yapısı

Taş mastik asfaltta yüksek asfalt içeriği nedeniyle, kuma meydana gelebilir. Elyaf fazla olan asfaltı tutar. Tekerlek izi oluşumunu engeller. Agregayı çevreleyen asfalt film kalınlığını arttırarak yolun çekme gerilmesini arttırır.

**2.1.4.1.1 Taş Mastik Asfaltın Yapım Şartları.** Taş mastik asfaltın yapım şartları şu şekilde sıralanabilir.

- Bitüm ve mineral agrega en az 165 °C, en fazla 180 °C ,lik sıcaklıkta ısıtılır.
- Plent, elyaf katkıyı ve filler malzemesini otomatik olarak istenilen ağırlıkta besleyecek donanımına sahip olmalıdır. Elyaf karıştırıcıya sıcak agrega doldurulması esnasında eklenecek şekilde ayarlanır.
- Hazırlanan sıcak karışım ısıtması ve ısı yalıtımı bulunan sıcak silolarda depolanır.
- Sıcak silolarda karışımın bekletilmesi belirli bir zaman içinde olmalıdır. Taş mastik asfalt hiçbir durumda gece boyunca veya bir sonraki günün kaplaması için depoda bekletilmemelidir.
- Sıcak karışım sericiye verildiği zaman, hava sıcaklığı en az 10 °C, karışım sıcaklığı en az 145 °C olmalıdır.
- Karışım serildikten hemen sonra, bir finişerin statik ağırlığı minimum 10 ton olan en az iki adet çelik bandajlı silindir kullanılarak sıkıştırılmadık, lastik tekerlekli silindir kullanılmamalıdır.

- Silindirler, sericinin arkasında en az 100 m mesafede içerisinde çalışmalı vibrasyon uygulanmamalıdır.
- Karığımsıcaklığı 115 °C ,ye düğneden önce silindiraj tamamlanmalıdır.
- TaÇmastik asfalt sıkığtırılmığtabaka kalınlığı, Tip-1 için 30-50 mm, Tip-2 için 25-40 mm arasında olmalıdır (Uluçaylı, M. bt).

2.1.4.1.2 *Taş Mastik Asfaltın Uygulama Alanları.* TaÇmastik asfaltın uygulama alanları Ėu Ėilde sıralanabilir.

- Yoğun tekerlek izi oluğanyollarda,
- KavĖaklarda,
- Otoyollarda,
- Trafik ığklarının bulunduğu yerlerde,
- Rampalarda,
- Köprülerde,
- Otobüs Ėertlerinde,
- Otobüs duraklarında,
- Otoparklarda,
- Havaalanlarında,
- Limanların ağır yük sahalarında,
- Yük boğatımı yapılan alanlarda,

uygulanabilmektedir (Uluçaylı, M. bt).

2.1.4.1.3 *Taş Mastik Asfaltın Avantajları.* TaÇmastik asfaltın avantajları aÇıda sıralandığı gibidir.

- Yüksek sıcaklıklarda, yüksek dayanım gösterir.
- Düğüksıcaklıklarda, iyi esneklik özelliği gösterir.
- Yağlanmaya karĖıyüksek dayanım verir.
- Yüksek yapığna kapasitesi gösterir.

- Ayrışmaya karşı eğilimi olmayan bir karışımoluğturur.
- Yüksek kayma direncine sahiptir.
- Daha rahat gece görüşüsağlar.
- Daha düşükseviyelerde trafik gürültüsü oluşmasına imkân sağlar (Uluçaylı, M. bt).

2.1.4.1.4 *Taş Mastik Asfaltın Dezavantajları.* Taşmastik asfaltın dezavantajları aşağıda sıralandığı gibidir.

- Yüksek maliyet gerektirir.
- Süre artması sonucu üretim azalır.
- Trafiğe açılma süresini geciktirir.
- Çık kayma direnci düşüktür (Uluçaylı, M. bt).

#### 2.1.4.2 *Poroz Asfalt*

Geçirimli Asfalt (poroz asfalt) , yüzeyi ve alt temeli asfalt, çakıl ve kırılmış agregadan oluşmuş boşluk hacmi yüzdesi yüksek olan, yola gelen yağmur suyunun veya erimişkarın hemen kaplama tabakası içine girmesine ve suyun drenaj tesisine ulaşmasından veya taban zeminine sızmasından önce üstyapı içinde geçici olarak depo edilmesine imkân veren bir kaplama türüdür.

Geçirimli asfalt tabakasının diğer kaplamalardan farkı; serildikten ve sıkıştırıldıktan sonra % 20 gibi fazla miktarda boşluk oranına (poroziteye) sahip olması (geçirimsiz kaplamada %3-5 civarında) ve daha büyük çapta agregaya sahip olmasıdır (Uluçaylı, M. bt).

Çık poroz asfalt çalışmaları, 1950'lerin ortalarına doğru İngiltere Havayolları Bakanlığı tarafından başlatılmıştır. Bu zamanlama 2. Dünya Savaşının sonlarına ve jet motorlu uçakların gelişimine denk gelir. Hızlı iniş yapan uçakların ıslak zemin koşullarından etkilenmemesi için bu açık gradasyonlu kaplama türü geliştirilmiştir. (Uluçaylı, M. bt).

Poroz asfalt kaplamalar, üretim ve uygulama aşamaları yönünden geleneksel asfaltla benzerlik gösterir. Standart asfalt plantleri ve serme-sıkıştırma araçlarıyla kullanımı uygundur. Poroz asfaltta kullanılan agrega karışım, esas kullanım amacına göre farklılık gösterebilir. (Gürültüyü azaltmak, sürtünme katsayısını azaltmak, drenajı sağlamak v.b.) (Uluçaylı, M. bt).

Tablo 2.1 Poroz asfalt karışımında agrega gradasyonu (NAPA, 2003)

Standart Elek Boyutu	Geçen Yüzde
19 mm	100
12,5 mm	85 - 100
9,5 mm	55 - 75
No. 4	10 - 25
No . 8	5 - 10
No . 200	2 - 4

Poroz asfaltta aşınma ve cilalanma derecesi yüksek agrega kullanılmalıdır. Nedenleri:

- Agrega karışımındaki ince dane oranı azdır.
- Taneler arası temas noktası azdır.
- Temas noktalarına gelen yükler fazladır (Uluçaylı, M. bt).

Yüksek drenaj özelliğine sahip geçirimli asfaltın uzun ömürlü olabilmesi için, bitümlü bağlayıcı filminin süreklilik göstermesi ve kalın olması gerekir. Yurtdışındaki uygulamalarda en iyi performans, ağırlıkça yüzde cinsinden %5,5 – 6 oranında bitüm kullanılması ile elde edilmiştir. Asfalt karışımın mekanik özelliklerinin yüksek olması için, standart bitüm yerine polimer katkılı modifiye bitüm kullanılması önerilmektedir.

Poroz asfalt, karışım serildikten sonra 8-10 tonluk silindirler ile sıkıştırılır. Sıkıştırma sıcaklığı, bağlayıcının viskozitesine göre seçilir. Sıkıştırma sırasında

kaplamanın geçirimsizlik özelliğinin azalmaması için silindirin 1 ya da 2 kez geçmesi yeterli olmaktadır. Kaplama altındaki temel tabakası, 37,5mm ila 63mm çapında, açık gradasyonlu ve yıkanmış temiz agregalardan oluşmaktadır (Uluçaylı, M. bt).

Agrega karışımındaki boşluk oranı ve temel tabakası kalınlığı, yağmur suyunun kritik depolama hacminin belirlenmesi açısından önemlidir. Temel tabakası genellikle;

- Yağmur suyu miktarına,
- Don penetrasyon derinliğine ve
- Taban zemini geçirimsizlik durumuna göre

30-90 cm arasındaki bir kalınlıkta inşaedilir (Uluçaylı, M. bt).

Poroz asfaltın oturduğu taban zemini tesviye edildikten sonra ayrıca bir sıkıştırma işlemi uygulanmaz. Böylece yol yüzeyinden gelen suların tabana dağılması ve yeraltına sızması kolaylaşır.

Poroz asfalt uygulanan yerlere çoğunlukla gerekmesede temel (rezervuar) tabakası tabanına drenaj boruları döşenerek suyun tahliyesi sağlanabilmektedir.

*2.1.4.2.1 Poroz Asfaltın Uygulama Alanları.* Poroz asfaltın uygulama alanları şu şekilde sıralanabilir.

- Havaalanlarında,
- Otoyollarda,
- Otoparklarda,
- Yürüyüş alanlarında,
- Basketbol ve tenis sahalarında,
- Rekreasyon alanlarında,

uygulanabilmektedir (Uluçaylı, M. bt).

2.1.4.2.2 *Poroz Asfaltın Avantajları.* Poroz asfaltın avantajları şu şekilde sıralanabilir.

- Suyun yoldan hızlı bir şekilde uzaklaşmasını sağlayıp kuzaklanmayı önler ve aderans sağlar.
- Yol üzerinde ince su tabakası oluşmadığı için ıgk yansıması meydana gelmez ve yol yüzey iğatleri daha iyi görünür.
- Geçirimli kaplamadaki boşluklar kaplamaya büyük bir makro pürüzlülük sağladığından, yüksek hızlarda kaymaya ve savrulmaya karşı direnci sağlanmıştır.
- Yağmurlu havalarda araç seyir hızı ve yol kapasitesi yüksektir.
- Plastik deformasyona (tekerlek izi oluşumuna) karşı daha dirençlidirler.
- Stabilitesi yüksek olduğu için daha az çatlak ve çukur oluşumu görülür.
- Araç tekerleklerinin oluşturduğu seyir gürültüsü daha azdır.
- Yağmurlu havalarda araçlar tarafından çevreye sıçratılan su miktarını azaltırlar (Uluçaylı, M. bt).

2.1.4.2.3 *Poroz Asfaltın Dezavantajları.* Poroz asfaltın dezavantajları ise aşağıda sıralandığı gibidir.

- Poroz asfalt kaplamalarda kullanılan malzeme maliyeti geleneksel asfalta kıyasla %20-25 oranında daha fazladır.
- Ancak poroz asfaltın uygun zemin koşulları mevcut olduğu takdirde yağmur suyu drenaj sistemine olan ihtiyacı ortadan kaldıracığı ve toplam maliyetin azalacağı da dikkate alınmalıdır.
- Su ile birlikte gelen ince daneli malzeme erozyonunu önlemek için kullanılan filtre tabakası, maliyeti arttıran bir unsurdur.
- Bakım-onarım masrafları daha yüksektir.
- Poroz asfalt kaplamaya özelliğini kazandıran porozitenin sürekliliğini sürekliliğini sağlamak önemli olduğundan, zamanla kaplama üzerinde biriken toz, toprak gibi maddelerin uygun teknikle (vakumlu süpürge) temizlenmesi gerekir (Uluçaylı, M. bt).

## 2.2 Rijit Üstyapılar

### 2.2.1 Giriş

Bağlayıcı olarak çimento betonu kullanılarak yapılan kaplamalara rijit kaplamalar denir. Üstyapıda bağlayıcı olarak betonun görevi, taşıtlardan iletilen yükleri alt tabakaya iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmamasını sağlamaktır. Bu durumda, betonun rijitlik özelliğinden yararlanmak gerekir.

Betonun genel özelliği olarak, çekme direnci düşüktür. Beton üzerinde oluşan deformasyonlar ile gerilmeler arasındaki ilişki lineer değildir. Uygulanan yükler ortamdaki kalktıktan sonra bir süre, beton yüzey üzerinde kalıcı deformasyonlar görülür. Daha sonra beton yüzey yavaş yavaş eski durumuna döner (Giriş, Ü. 2009).

Taşıtan gelen yük, beton yüzey üzerinden geçerken çekme, basınç ve eğilme gerilmeleri oluşur. Taşıtı geçtikten sonra, oluşan gerilmeler yön değiştirerek kaybolur. Özellikle ağır yük trafiği taşıyan bir beton yolda, bu gerilme değişimleri, sürekli olarak kısa zaman aralıkları ile kendini gösterir. Bu durumda, beton yüzeyde çekme ile basınç arasında değişen sürekli gerilmeler oluşur, bunun sonucunda beton yüzeyinde yorulmalar görülür.

Diğer malzemelerde olduğu gibi beton da sıcaklığın değişmesine bağlı olarak genleşmekte veya büzülmemektedir. Ayrıca beton kaplamaların alt ve üst yüzeyleri günlük, mevsimlik sıcaklık ve nemlilik farkları nedeniyle eğilme ve bükülmelere uğrar (Giriş, Ü. 2009).

Bir beton kaplamanın özellikleri, dökülen beton tabakalarının özelliklerinin yanı sıra, kaplama altına serilen alt temel ve temel tabakaları ile tabii zeminin özelliklerine bağlı olarak değişir. Bu nedenle, tasarım sırasında, beton kaplamanın davranışını etkileyen, taban zemini, temelde kullanılan malzemelerin, betonun imalatında kullanılan malzemelerin (kum, çakıl, çimento ve betonarme demiri vb.) özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir (Giriş, Ü. 2009).

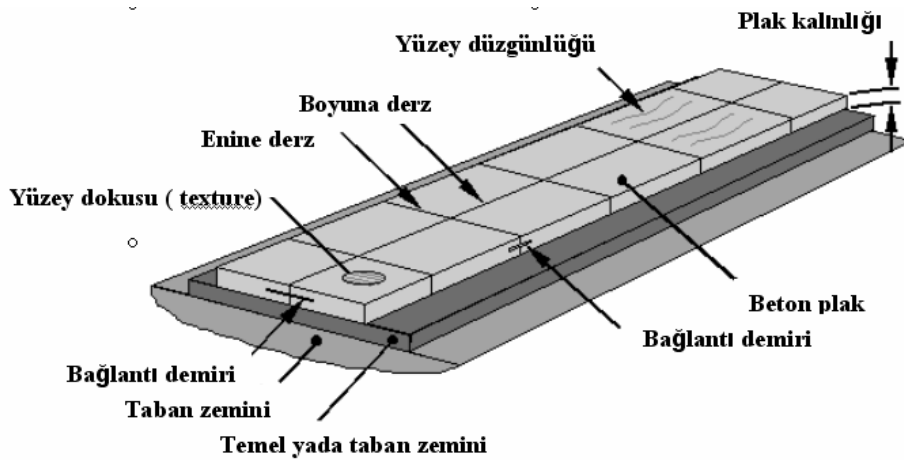


### 2.2.2 Rijit Üstyapuların Özellikleri

Rijit üstyapılar, Portland çimentosundan yapılmış, yüksek eğilme direncine sahip olan ve beton plak vasıtasıyla yükleri tabii zemine dağıtan üst yapı tipidir. Rijit üstyapılar, taban zemini üzerine yapılan beton plaklardan oluşur. Sürekli donatının kullanılmadığı rijit üstyapılarda enine ve boyuna genleşme derzleri konulur. Bulunduğu bölgenin iklim şartlarına uygun olarak; don, pompaj, şişme-büzülme olaylarına karşı ise beton kaplama ile tabii zemin arasında kaplama altı tabakası tasarlanır.

Beton plağın sahip olduğu elastisite modülü taban zemininkinden çok büyük olduğu için beton plak, elastik zemine oturan bir kiriş şeklinde çalışır (Karpuz, O. 2008).

Trafik yüklerini, esnek üstyapıya yaydığı alana göre daha geniş bir alana yayarak, taban zeminine iletir. Beton plak, tabii zemin ile sürekli temas halinde olduğu sürece taşıyıcı eleman gibi çalışır. Taban zemini oluşacak farklı sebeplerden dolayı çökmeye uğrarsa, taban zemininin deformasyonuna ayak uyduramayan beton plak, bu çökmeye uğrayan kısımlarda kiriş gibi çalışmaya başlar, betonun düşük olan çekme basıncının aşılması sonucunda kırılır. Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafikten gelen yükleri tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmamasını sağlamaktır (Karpuz, O. 2008).



Şekil 2.4 Beton yol kesiti ve yapı elemanları (Karpuz, O. 2008).

### 2.2.2.1 Taban Zeminleri

Bazı taban zeminleri, rijit kaplamaların davranışlarına zarar verecek özelliktedirler.

Taban zemininde serbest su bulunması halinde alt temel tabakasına uygun takviye yapılarak pompaj olayına yatkın zemin korunmalıdır. Yüksek plastisite indeksine sahip killi zeminler için alt temel tabakasına ilave olarak yeterli kalınlıkta seçme malzeme örtülmelidir (Karpuz, O. 2008).

Don olma ihtimali yüksek olan alanlarda, önlem olarak dona hassas olan zemin uzaklaştırılmalıdır. Elastikliği fazla olan zeminlerde, uygun malzeme ilave edilerek çökmelerin oluşuracağı zararlı etkilerin engellenmesi gerekmektedir (Karpuz, O. 2008).

### 2.2.2.2 Kaplama Altı Tabakası

Beton kaplamaya zarar verecek bazı durumlar bulunabilir. Böyle çatlakların oluşabileceği yerlerde beton plak ile taban zemini arasına daneli malzemeden oluşmuş bir tabaka serilir. Bu tabakaya alt temel veya kaplama altı tabakası denir. kaplama altı tabakasını gerektiren haller şunlardır:

- Donma etkisi
  - Yüksek hacim değişimi gösteren zeminlerde oluşan çökme ve büzülme etkisi
  - İnce daneli olan ve serbest su riski bulunan zeminlerde oluşan pompaj etkisi.
- (Karpuz, O. 2008).

Donma etkisi, zeminde kuvvetli hareketlere sebep olur ve rijit kaplama yüzeyinin taşıyıcı eleman özelliğini yok eder veya taban zemininde sürekli genleşmeye ve yumuşamaya neden olur. Sonuç olarak, taban zeminin taşıma gücü iyice düşer kaplama yük taşıma özelliğini yitirir. Donma etkisinden en çok etkilenen zeminler genellikle silt ve çok ince daneli kumlar gibi su iletimi yüksek olan zeminlerdir.

Yüksek hacim değişimi gösteren zeminlerde, ęiřme ve büzülmeyi önlemek için seçme malzemedeki kaplama altı tabakası yapılır. Bu tabakanın kalınlığı, kaplama altı tabakasında kullanılan malzemenin sızdırmazlık özelliğine, zeminin ęiřme özelliğine, nem durumuna, inġaat yapılacak bölgenin iklim ġartlarına göre belirlenir.

Genel olarak minimum alt temel kalınlığı 30 cm alınır. Pompaj (boġalma) olayına karş yapılan kaplama altı tabakasında kum, az kil, çakıldan oluşmuş malzeme kullanılır. Kplama altı tabakası en çok 15 cm' lik tabakalar halinde serilir (Karpuz, O. 2008).

### 2.2.2.3 Beton Plaklar

Beton yolların yüzeyleri tutucu özellik gösterir ve pürüzlüdür. Ayrıca kaymaya karş direnç gösterdiği için %7 ye kadar boyuna eğim uygulanabilir. Eğer tasarım için daha fazla pürüzlülük ya da daha fazla eğim isteniyorsa yüzeyin özel olarak, daha farklı yöntemlerle pürüzlendirilmesi gerekir. Teknik ġartnamelerde yağış sularının çabuk akması için minimum boyuna eğim %0,4 olarak belirtilmiştir (Karpuz, O. 2008).

Beton yol yüzeyinin düzgün olması sonucu suların kolayca akmasına müsait olduğundan, enine eğim, boyuna eğime bağlı olarak diğer kaplama cinslerine göre daha küçük alınabilir. Düşük boyuna eğimlerde, enine eğim % 2,0; dik boyuna eğimlerde de minimum % 1 olmalıdır. Otoyollarda ise enine eğim aralığı % 1,6-2'dir (Karpuz, O. 2008).

Taban zemininin özelliklerine bağlı olarak plak kalınlığını arttırmak gerekirse, bu kalınlık en çok 25 cm' ye kadar çıkarılabilir. En düşük kalınlık için ise, mevcut ve sağlam bir altyapı üzerine gelecek beton döşmelerin kalınlığı I. grup yollarda 15 cm, diğer yollarda ise 12 cm' den az olamaz (Karpuz, O. 2008).

#### 2.2.2.4 Yol Betonunu İle Diğer İnşaat Betonları Arasındaki Farklılıklar

Bir yol betonunun tasarımı, genelde diğer inşaat betonları ile benzer özellikler göstermektedir. Fakat yol betonu diğer betonlara göre, kullanılan yerlere ve kullanılış biçimlerine göre çeşitlilikler gösterebilmektedir.

Su / Çimento oranı diğer betonlarda 0,50 civarında iken yol betonlarında bu oran 0,35-0,45 değerleri arasında değişmektedir (Ağar. E. , Süttaş ve Öztaş. 1998). Su / Çimento oranındaki bu azalma işlenebilirliği azaltabilecek bir olumsuzluk gibi görünse de, uygun bir vibrasyon sağlanarak bu olumsuzluk giderilmekte, beton direncinde önemli artış sağlanmaktadır.

Diğer betonlarda maksimum agrega dane boyutu 40 mm'dir. Yol betonlarında ise maksimum agrega dane boyutu 70–80 mm'ye çıkabilmektedir. Su / Çimento oranının düşürülmesinde olduğu gibi maksimum dane boyutunun artırılmasının, işlenebilirliği azaltacağını beklenmesine yol açsa da, bu durum yüksek dirençli beton sağlanmasına olanak sağlamaktadır (Ağar. E. , Süttaş ve Öztaş. 1998).

Kırma taç malzemesi, kenetlenmeyi ve içsel sürtünmeyi arttırdığı gibi, güvenlik kistasına bağlı olarak beton yolun yüzeyindeki kayma sürtünme katsayısının artmasına ve böylece yol güvenliğinin artmasına olanak sağlamaktadır. İşlenebilirliğin azalması riski ise iyi bir vibrasyon sağlanarak giderilir.

Yol betonunun büyük bir yüzeyel alana sahiptir ve geniş yüzeyi sebebiyle beton dökümü sonrasında dış hava koşullarına maruz kalması sonucu rötreye maruz kalıp rötre çatlakları oluşur. Bu durumda, rötre azaltıcı katkı malzemesinin kullanılarak bu zararlı etki giderilebilir.

Ayrıca soğuk havada beton dökümü yapılan ve yolun trafiğe açılmasında çabukluk gerektiren durumlarda diğer bir katkı maddesi olarak priz hızlandırıcıların uygulanması yararlı olmaktadır.

### 2.2.2.5 Rijit Üstyapuların Avantajları

Kayma sürtünme katsayıları ve kaymaya karşı dirençleri fazladır. Boyuna sürtünme katsayısı 0,70, enine sürtünme katsayısı 0,65 civarındadır. Ayrıca, yağ etkisine maruz kaldıkları zaman veya su etkisi görüldüğünde, sürtünme katsayısının küçülmesi, diğer bağlayıcılarla yapılan kaplamalara göre daha azdır. Yol yüzeyi düz olduğundan yağ suları kolay akar ve yüzey çabuk kurur (Ağar. E., SütüÇ.Ė ve ÖztüÇ. G 1998).

Yuvarlanma sürtünme katsayıları, dolayısı ile harekete karşı dirençleri düşüktür. Araçların yıpranma süreleri azalır ve dolayısı ile mekanik ömürleri artar. Motordan tekerleklere aktarılan kuvvet düzenli olacağından yağ ve yakıt masrafı azalır. Bandaj ve lastik aşınması az olur. (Ağar. E. , SütüÇ.Ė ve ÖztüÇ. G 1998)

ABD’de, Federal Highway Administration (FHWA) ve Hindistan’da Central Road Research Institute tarafından yapılan denemeler, beton kaplamalarda asfalt kaplamalara göre yaklaşık % 15 – 20 yakıt tasarrufuna ulaşıldığını göstermiştir. (Ėynam, Ė. ve Ağar, E. 2006) . Tüm bu sebeplerden dolayı daha ekonomiktir.

Dayanıklılık bakımından her türlü etkiye karşı koyacak bir kaplama türüdür. Çatlak oluşmasını önlemek ve gerilmeleri dengelemek için çelik donatı kullanılabilir. Kaplama oluşabilecek çatlaklara rağmen bile kullanılacak çelik donatı sayesinde, çekme gerilmeleri taşınabilir. Çelik donatı uygulanabilen tek kaplama türüdür. (Ağar. E. , SütüÇ.Ė ve ÖztüÇ. G 1998).

Gürültüsüz ve tozsuzdur. Işığ az emer. Yüzey pürüzlülüğü az olduğu için yüksek hızda az gürültü yapar. Yüzeyin dayanıklılığı malzemenin ufalanıp toz haline dönüşmesini önler. Açık rengi sayesinde gece kolay görülür. (Ağar. E. , SütüÇ.Ė ve ÖztüÇ. G 1998).

Beton özellikle gece güvenli seyir açısından önemli olan, asfalt kaplamaya göre % 33–50 daha fazla ışık yansıtma özelliğine sahip bulunmaktadır. Beton ışığı yansıttığı

için görülebilirliği ve dolayısıyla güvenliği arttırmakta ve karayolu aydınlatma maliyetlerinde tasarruf sağlayabilmektedir (Günay,ğ. ve Ağar,E. 2006). Bu olay trafik güvenliği açısından önem taşır.

Özenle inşa edilen bir beton kaplamanın bakım masrafları beton asfalt kaplamalara oranla daha düşüktür. İyi yapılmış beton yolların hiçbir yüzey bakımı olmadan 20 sene kullanılmaları mümkündür. (Ağar. E. , Süttaş ve Öztaş.G. 1998)

*“Beton kaplamalı yolların denenmiş en önemli üstünlüğü uzun hizmet ömrü ve üstün dayanıklılığıdır. Beton, ağır trafik yüklerine daha iyi dayanabilmektedir. Betonda, bitümlü kaplamaların kullanılması halinde olası bulunan tekerlek izi ve ötelenme oluşumu bakımından kaygılanmaya gerek bulunmamaktadır. Asfalt kaplamalı olanların 10 yıl olan hizmet ömürlerine karşılık, beton kaplamalı yollar, sistemin gereksinimlerine bağlı olarak 35 - 40 yıl ve daha uzun süre dayanmak üzere tasarlanabilmekte, böylece beton en uzun hizmet ömürlü üstyapı çözümü olmaktadır. Beton kaplamalar çoğunlukla, hem tasarlanan ortalama hizmet ömründen, hem de tasarımda göz önüne alınan trafik yüklerinden daha fazlasına dayanmaktadır. Buna ek olarak beton, zaman içinde giderek sağlamlık kazanmaktadır” (Günay, Ş. ve Ağar, E. 2006).*

Diğer bağlayıcılarla yapılan yollarda görülen ondülasyonlar beton yollarda görülmez. Sürtünme katsayısı yüksek olduğundan, esnek kaplamalara göre daha dik eğimlere uygulanabilir.

Temel görevi yapabilir. Uzun süre kullanıldıktan sonra yüzey çok bozulacak olursa, basit bir tamirle diğer kaplamalara (parke veya asfalt) temel görevi yapabilir. Kendi kendisine de temel görevi yapar.

Türkiye'nin birçok bölgesinde beton dökümü için en uygun mevsimi daha uzun sürelidir. Asfalt betonunun aksine ıslak zeminde de döküm yapılabilir (Ağar, E. , Süttaş ve Öztaş.G. 1998).

Asfalt kaplama uygulaması düşük sıcaklıkta ve yağlı hava koşullarında yapılamadığından, yapım ve onarım mevsimi kısa olmaktadır. Beton kaplama uygulaması ise, ıslak zemin de dâhil olmak üzere, her türlü iklim koşulunda yapılabilmektedir (Günay. ğ. ve Ağar. E. 2006).

#### 2.2.2.6 Rijit Üstyapıların Dezavantajları

Üstyapı inşaatı devam ederken ve dökümü yapılan beton yol prizini alıncaya kadar trafiğe açılmamalıdır. Onarım ve bakım işlemleri yapılırken de aynı durum ortaya çıkmaktadır. Trafik altında imalat, bakım, onarım işlemleri yapılamaz.

Tasarım aşamasında veya imalat uygulanırken yapılacak hata, çatlak oluşmasına neden olur. Bu çatlaklar kaplamanın çabuk bozulmasına yol açar. Çatlakların genel olarak meydana gelme sebebi, priz sırasındaki oluşturanrötre ve ısı değişimlerinin net bir şekilde kendini göstermesidir. Trafik etkisine maruz kalmadan da , don olaylarının tekrarlanması ve pompaj olaylarının oluşması durumunda çatlamaÇolan kaplama tamamen bozulabilir. (Ağar. E. , SütüÇ.Ç ve ÖztüÇ. G 1998)

Beton yollar altyapı uygulamaları bakımından elverişlidir. Beton yolların yapımının tamamlanmasından sonra doğalgaz, kanalizasyon, su, telefon uygulamalarının imatları ve bakım ve onarımlarının yapılması zordur. Altyapı uygulamalarında meydana gelecek olan arızaların yerlerini bulmak güçtür ve bunun yanında oluşan arızalar giderildikten sonra, beton yolların tamir edilen kısımları zayıf kalır. Bu sebeplerden dolayı beton yol uygulamalarının şehirlerarası yollarda altyapı tesisi gerektirmeyen yerlerde uygulanması daha doğru olacaktır.

Betonun yapısından dolayı açık renkte olması, güneş altında göz kamaçtırmalarına neden olur. Uygulama anında betona boya karıştırılıp renkli yol yaparak bu sakınca giderilebilir.

Gerilmeleri, genleşmeve büzölmeleri engellemek amacıyla oluşturulan derzler ve kaplama yüzeyinde kaymaya karşı direnç sağlanması için oluşturulan yivler gürültü

yapmakta ve sürüğ konforunu azaltmaktadır. Ayrıca, derzlerin yapımı ve bakımı deneyim ve uzmanlık gerektirmektedir.

Çok uzun süre trafik etkilerine maruz kaldığında aÇınma etkisi ile yüzey kaygan hale gelir. Ancak aÇınma, uygun malzeme kullanılarak geciktirilebilir. Ayrıca her tip kaplamada bu sakınca vardır (AĞar, E. , SütüÇ Ė ve ÖztüÇ G. 1998).

### **2.2.3 Rijit Üstyapılarda Kullanılan Malzemelerin Özellikleri**

Rijit üstyapı için tasarlanan bir betonun bileğenleri çimento, mineral agrega, su, tasarım Ėatına göre gerektiğinde çelik donatı, iğenebilirliği arttıran veya prizi geciktirici kimyasal katkılarıdır. Bu malzemelere ilave olarak betonun kuru için gereken malzemeler ve derz dolgu malzemeleri de eklenebilir (AĞar, E. , SütüÇ Ė ve ÖztüÇ G. 1998).

Su ile çimento birleğerek agregaların birbirine bağlanmasına yardımcı olur. Ėtenilen ve amaçlanan yapıda bir tasarım oluşturabilmek için karığına katılan her malzemenin özelliklerinin iyi Ėilde bilinmesi gerekmektedir. Daha önce esnek kaplamaların tasarımında kullanılan malzemeler bölümünde agregalar ile ilgili bilgiler verildiğinden rijit kaplamalarda bu bölüme değinilmeyecektir.

#### **2.2.3.1 Çimento**

Çimento en geniğ anlamıyla, su ile birleğtiğinde, suyun muhtevasına göre az miktarda ya da çok miktarda akıcı kıvamına ulaşan, suyun yapısına iğemesiyle priz alıp, sertleğen ince taneli malzemedir. Beton yol üstyapı çalığmalarında, diğere beton uygulamalarından farklı olarak kolayca iğenebilmesi ve standartlara uyması bakımından özel olarak bu koğulları sağlayan bazı çimento türleri kullanılmaktadır.

Çimento, tasarımına göre belirlenen miktarda agrega üzerinde yine tasarımına göre farklı miktarlarda ve değiğik oranlarda bir araya gelerek priz aldıktan sonra bağlayıcılık rolü üstlenir.



Günümüz Çatlarında, çimento muhtevasında ana madde olarak portland klinkeri kullanılır. Ayrıca bunun yanında, farklı amaç ve tasarımlara hitap etmesi açısından puzolanlar, yüksek fırın cürüfları ve uçucu küller ikincil bileşen olarak kullanılarak istenilen performans elde edilebilir (Ağar, E. , SütüÇ Ė ve ÖztüÇ G. 1998).

### 2.2.3.2 Su

Su, bir beton yol inĖatı ağamasında, beton yolun üretimi sırasında çimento ile karığılarak ana bağlayıcı olan çimento hamurunun oluğturulmasında, karığımın yapıldığı karığıcının temizlenmesinde, beton tağyan araçların (günümüz koğularında mikserlerin) yıkanmasında, döküm esnasında temel tabakasına gerekli olan nem miktarının kazandırılmasında, gerektiği koğullarda karığıma ilave edilmesinde ve en önemli görevlerinden biri olarak beton dökümü tamamlandıktan sonra istenilen performansı elde edebilmek için betona kür iğemleri uygulanmasında kullanılır (Ağar. E. , SütüÇ Ė ve ÖztüÇ. G 1998).

2.2.3.2.1 *Betonun Karma Suyunun Özellikleri.* Uygulama esnasında beton üretilirken, karığım üzerinde kullanılacak suyun özelliklerine çok dikkat etmek gerekmektedir. Beton birleğiminde çok önemli rol alan karma suyunda bulunabilecek yabancı ve zararlı maddeler betonun priz alma sürelerini, betonun dayanımını ve iğenebilirlik özelliğini değiğirebilirler. Ayrıca üretilen beton yüzeyinde leke oluğumlarına ve eğer varsa içinde bulunan donatının korozyona uğramasına neden olabilirler. Birçok standart ve Çarntamelerde betonda kullanılacak su için istenen özelliğin iÇilebilir su olarak olması gerektiği belirtilmiğtir. Bu durumdan, kullanılacak suyun içinde, betonun fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiğirmeyecek ve olumsuz etkilemeyecek zararlı ve yabancı maddelerin bulunmaması anlamı çıkarılabilir.

Betonun karığımında kullanılacak suyla ilgili olarak bazı zorunluluklar getirilmiğtir. Örnek olarak betonarme betonunda kullanılacak karma suyunda asit bulunmaması yani pH değerinin 7'nin üzerinde olması istenmektedir Bunun sebebi

olarak asitin betonun priz almasını geciktirmesi olarak gösterilebilir (Ağar, E. , SüttaÇ ve ÖztaÇ G. 1998).

En genel anlamda içilebilir nitelikteki her su, beton içinde karma suyu olarak kullanılabilir diyebiliriz. Bu konuyu biraz daha detaylandırmak gerekirse Çuhusular da unutulmamalıdır:

- Asidik özellikte olmamalıdır. Yani  $pH > 7$  olmalıdır.
- % 0,04'den fazla  $SO_3$  ihtiva etmemelidir.
- Çeriğinde madeni tuz bulundurmamalıdır.
- Çeriğinde %2'den fazla yağ bulduran karma suları beton dayanımını azalttığından kullanılmamalıdır.
- Deniz suyu diğer Çatları sağlaması kaydıyla ve içme suyu özellikli suya göre üretilen betona göre %90'dan fazla mukavemet veriyorsa kullanılabilir.
- Betonun fiziksel ve kimyasal yapısının bozulmasına neden olan sodyum sülfat ( $SO_4$ ) ve alkali oksitler su içinde maksimum %1 oranında olmalıdır.
- Kil, silt, organik madde vb. maddeler suyun içinde maksimum %0,2 oranında olmalıdır
- Ėeker ve Çerli maddelerin varlığı priz geciktirici etki yaratacağından bulunmamasına dikkat edilmelidir. (Ecevit, O. 2007)

### 2.2.3.3 Katkı Maddeleri

Katkı maddeleri, beton karığım içinde bulunan çimento ağırlığının en fazla %5'i kadar bir oranda betona eklenir. Kullanılmalarında ki ana neden üretilen betonun istenilen özelliklerini geliğtirmesi veya betona ek yeni özellikler kazandırmasıdır. Katkı maddelerinin çok sayıda ve çok farklı amaçlar tağyan türleri mevcuttur. (Ağar. E. , SüttaÇ.Ė ve ÖztaÇ. G 1998).

Taze betonda kullanılan katkı maddeleri; su eklemesi yapmadan içnebilirliği arttırmak, betonun kür süresini azaltmak, tüm iklim koğularında betonun üretilbilmesine ve dökümüne olanak sağlamak, kohezyonu arttırmak, içnebilirliği

düğürmelen karışım içindeki su miktarını azaltmak, iğenebilirliğin zamanla kaybolmasını azaltmak, ayrışmayı (segregasyon) engellemek, terlemeye bağlı su kaybını dengelemek ve döküm esnasında pompalamayı hızlandırmak gibi amaçlar ile kullanılabilir.

Sertleğmiğbetonda kullanılan katkı maddeleri; dayanımı arttırmak, açağa çıkan hidratasyon ısısını azaltmak, döküm sonrasındaki dayanım artığını hızlandırmak, dona karęı direnci arttırmak, zararlı kimyasal etkileri engellemek, genleğmeleri dengelemek, donatıda oluğabilecek korozyonu önlemek, agrega ve donatıyla olan aderansı arttırmak, betonun mekanik özelliklerini düzenlemek amacıyla kullanılabilir. (Ecevit, O. 2007)

Ayrıca katkı maddeleri konusunda şu ana prensipler unutulmamalıdır:

- Tasarım ağamasında belirlenen kurallara uygun üretilmeyen bir betonu katkı maddeleri takviyesiyle ile özelliklerini iyileğtirmek söz konusu değildir. Ana kural olarak, beton katkısız durumda beklenen özelliklere sahip olmalıdır.
- Katkı, çimento ve agregaların beklenen performansı verebilmesi için birbirleriyle uyuşması gerekir. Katkı maddesi kullanılmadan önce, bu uyuşmönceden yapılacak deneylerle kanıtlanmalıdır.
- Katkıların betona vereceği ana kazanımların yanında bağkayönden ikincil etkileri de olabilir. Bu ikincil etkiler betonu olumsuz yönde de etkileyebilir ya da beklenmeyen etkiler verebilir. Bu hususun gözden uzak tutulmaması gerekir.
- Beton karışımına birden fazla katkı aynı zamanda eklendiğinde kazanılması beklenen iyileğtirici sonuçlar azalabilir ve hatta kaybolabilir. Bu hususun olmadığının da ön deneylerle saptanması zorunludur (Ağar. E. , Sütağ.Ė ve Öztaç. G 1998).

### 2.2.4 Rijit Üstyapı Türleri

Rijit üstyapılar; bağlayıcı olarak çimento betonu kullanılarak oluşturulan ve üzerinden geçen trafik yüklerini zemine gönderen bir kaplama türüdür. Rijit üstyapılar, taban zemini üzerine yerleştirilen alt temel tabakası, gerekli şartlara göre zayıf beton tabakası veya bitümlü tabaka üzerine serilmiş beton plaktan oluşmaktadır (Ecevit, O. 2007).

Rijit üstyapılar üç ana gruba ayrılabilir:

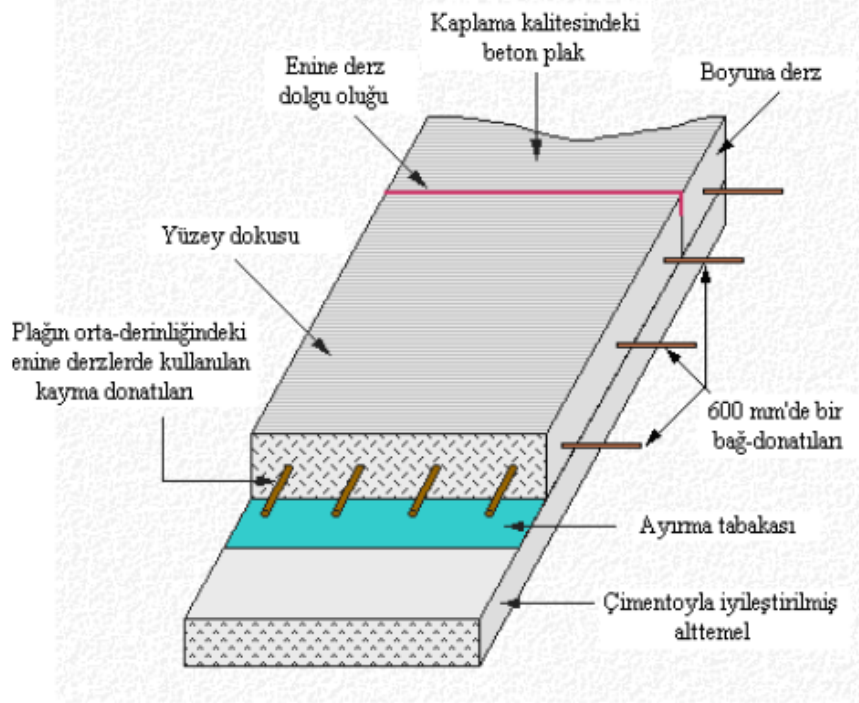
- Derzli donatısız rijit üstyapılar
- Derzli donatılı rijit üstyapılar
- Sürekli donatılı rijit üstyapılar

#### 2.2.4.1 Derzli Donatısız Rijit Üstyapılar

Derzli donatısız rijit üstyapılar, 3 ile 6 m. uzunluğunda bölümlerden meydana gelir. Bloklar ise yaklaşık 125 ile 350 mm. kalınlığındadır (Ecevit, O. 2007). Bu bloklar donatı bulundurmazlar. Derzler zayıflatılmış yüzeyde uygulanıp olup, geçmeli ya da geçmesiz olarak hazırlanabilirler. Anolar genellikle çimento bağlayıcılı veya bitüm bağlayıcılı tabakalar üzerine yerleştirilir.

Tabii zemin üzerinde bulunan temel tabakası kalınlıkları 100 ile 200 mm. arasında değişir. Derzli donatısız rijit üstyapılarda oluşturulan kısa derz aralıkları, ano ortasında oluşacak çatlakları en az seviyeye indirmek ve derz açıklıklarını daha küçük bırakabilmek için kullanılır (Ecevit, O. 2007). Derzlerin üzerinde oluşan bağlantı yüklerinin iletilmesinde, malzemelerin birbirine kenetlenmesinden yararlanır. Ağır trafik hacmine maruz kalan yollarda, özellikle fazla yağış alan ve nem oranı yüksek olan yerlerde, yük iletimini daha iyi hale getirmek için stabilize temel tabakası yada daha nadir bir çözüm olarak beton demirleri kullanılır. Derzli donatısız rijit üstyapılar çoğunlukla şehir içi caddelerde, hava alanı döşemelerinde ve otoyollarda kullanılır.

Ayırma membranı, Derzli donatısız rijit üstyapılarda ve derzli donatılı rijit üstyapılarda, beton plak ile alt temel arasındaki sürtünmenin azaltılarak orta alanda bulunan açıklıktaki çatlakların engellenebilmesi için gereklidir (Ecevit, O. 2007).



Şekil 2.5 Derzli donatısız rijit üstyapılar (Ecevit, O. 2007).

#### 2.2.4.2 Derzli Donatılı Rijit Üstyapılar

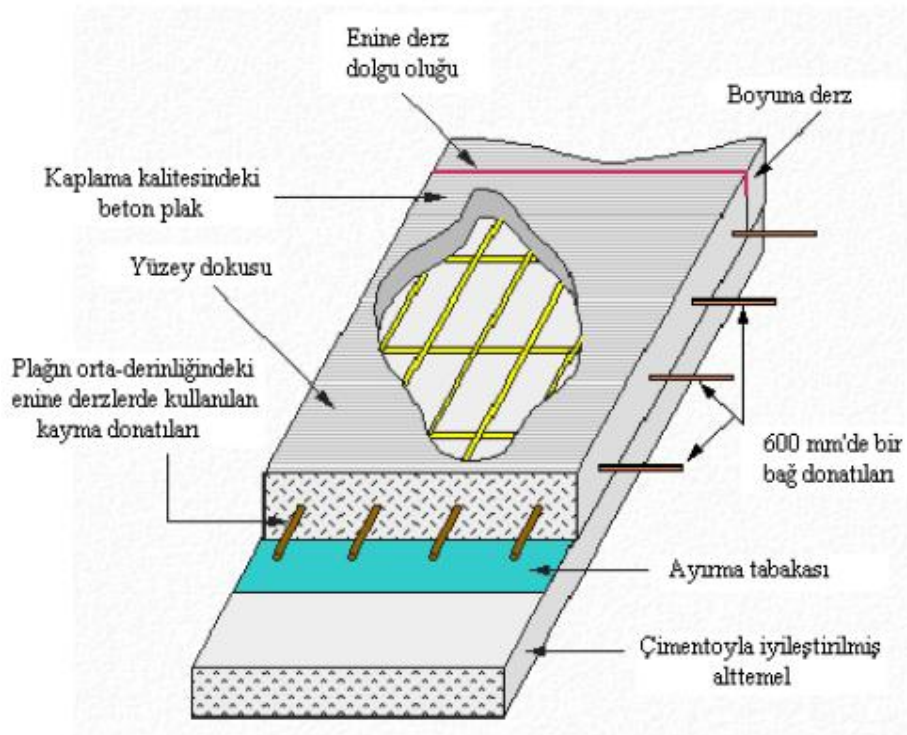
Derzli donatısız rijit üstyapılar, uzunlukları 8 ile 30 m arasında değişenlerden oluşur. Tabii zemin üzerinde bulunan temel tabakasının kalınlığı, derzli donatısız rijit üstyapılarda olduğu gibi 100 ile 200 mm. arasında hazırlanır. Blokların kalınlıkları 150 ile 350 mm arasında değişip, derzli donatısız rijit üstyapılardan farklı olarak ortalarında çelik donatı ağı bulunmaktadır (Ecevit, O. 2007).

Derz aralıkları daha uzun bırakıldığında, meydana gelecek kurumadan dolayı büzülmeye neden olur ve oluşacak ısıdan dolayı kıvrılmaya neden olur. Bu büzülme ve kıvrılmaya bağlı olarak kaplamada çatlaklar oluşur. Kaplamada donatı kullanılmasının amacı orta bölgelerde meydana gelecek çatlakların engellenmesidir. Donatı üzerine gelen yükleri karşılar ve yük iletimini sağlar.

Derz aralıklarının daha uzun bırakılması sonucu daha büyük derz açıklıkları oluşur. Bu sebepten dolayı derzlerin birbirleri arasındaki yüklerinin birbirlerine iletilmesini sağlamak için donatılar kullanılır.

Derzli donatısız rijit üstyapılar, iklim koşulları don oluşumuna ve çok soğuk hava çatlarına açık olan yerler ve yağışlı nem oranı yüksek bölgelerdeki yollarda daha fazla kullanılmaktadır.

Derzli donatılı rijit üstyapıların derzli donatısız rijit üstyapılardan tek farkı, enine derz aralıklarının artırılmasına imkân veren donatıların kullanılmasıdır. Bunun dışında her iki tip rijit üstyapı benzer özellikler göstermektedir. Her iki tür üstyapıda, yine ayırma membranı kullanılması, orta alanda oluşacak çatlakların engellenmesi için gereklidir (Ecevit, O. 2007).



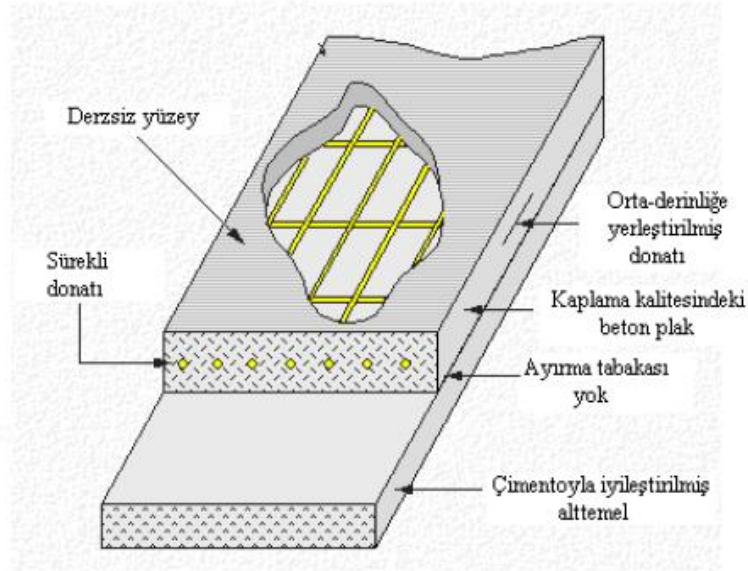
Şekil 2.6 Derzli donatılı tipteki rijit üstyapılar (Ecevit, O. 2007).

### 2.2.4.3 Sürekli Donatılı Rijit Üstyapılar

Sürekli donatılı rijit üstyapılar, enine derzler oluşturulmadan uygulanan beton plaktan oluşur. Beton plak kalınlıkları 150 ile 250 mm arasında değişir. Fazla oranda kullanılan donatı, diğer tüm betonarme yapılarda olduğu gibi, oluşan çatlakları engelleyemez fakat belirli bir oranda kalmasına imkân tanır (Ecevit, O. 2007). Donatı, beton plaklar üzerinde sürekli olarak uygulanır. Sürekli donatılı rijit üstyapılarda, derzli donatılı rijit üstyapılara göre daha fazla oranda donatı vardır.

Derzli donatısız rijit üstyapılarda ve derzli donatılı rijit üstyapılarda çatlakların oluşmasını engellemek için uygulanan ayırma membranı, temel ile alt temel arasında daha fazla oranda sürtünmenin elde edilebilmesi için sürekli donatılı rijit üstyapılarda uygulanmaz.

Tabii zemin üzerinde bulunan alt temel ile temas sağlanması sonucu üstyapı üzerindeki hareketlenmeler azalır ve çatlamlar kontrol altında istenilen düzeyde olur (Ecevit, O. 2007).



Şekil 2.7 Sürekli donatılı rijit üstyapılar (Ecevit, O. 2007).

## BÖLÜM ÜÇ

### KAPLAMALARDA BOZULMA VE BOZULMA TÜRLERİ

#### 3.1 Bozulma

Yollar, mühendislik yapıları içinde kendine has özelliği bulunan sonsuz uzunluktaki yapıdır. Bu nedenle yol boyunca, bozulmaya etki eden hususlar sürekli değişim göstermektedir. Yolu etkileyen bu hususlar;

- Zeminin yapısı
- Nem oranı
- İklim Çatları
- Trafik etkileri

olarak sıralanabilir (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001). Güncellenmesi gereken bozulma kriterleri ise Çunlardır.

##### *3.1.1 Servis Yeteneği İndeksi*

AASHTO tarafından geliştirilen bu yöntemde, yolun var olana servis kabiliyetini ölçmek için, sübjektif olarak yolun servis kabiliyeti 0'dan 5'e kadar numaralandırılmıştır. 0 yolun çok kötü durumunu, 5 ise çok iyi olduğunu belirtmektedir (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001).

Yolun boykesit ve enkesit profil değişiklikleri, çatlama oranı ve yama miktarlarına göre matematiksel bir indeks geliştirilmiştir. Böylelikle o yolun servis yeteneği indeksi, yolun ne derece bakıma ve onarıma gereksinim duyduğunun göstergesi olmuştur (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001).



### **3.1.2 Tekerlek İzi Derinliği**

Tekerlek izi derinliğinin belirli bir düzeyi ağmasıyla o yol bozulmuğ kabul edilmektedir. Tekerlek izi derinliğinin büyüklüğüne göre bakım ya da onarım kararı verilmektedir. Genel olarak bu ölçüt, 1 cm ile 2,5 cm arasındadır (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001).

### **3.1.3 Çatlak**

Çatlama / birim alanı oranı o yolun çatlama derecesini vermekte, bu değerin belirli bir değeri ağması ile gerekli bakım yapılmalıdır (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001).

### **3.1.4 Defleksiyon**

Genellikle üstyapının mukavemetinin artırılması ve takviye tabakasının kalınlığının saptanması ile ilgili bir ölçüttür. (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001).

## **3.2 Esnek Kaplamalarda Bozulma Türleri**

Esnek kaplamalarda oluçan bozulmalar genel olarak üç gruba ayrılır.

- Esnek kaplama yüzeyinde oluçan kırılma (Çatlama).
- Gerilmelerin dengelenememesi sonucu oluçan şekil değiğirme.
- Esnek kaplama yüzeyinde bağlayan ayrılma.

Meydana gelen deformasyonların ana sebeplerinden biri; iklim koğullarına ve trafik yüklerine bağlı olarak meydana gelen çökme ve büzülme olayıdır. Ayrıca tabii zeminde, alt temelde ve temelde zamana bağlı olarak taşıma gücünde azalma yağmasıdır (Umar, F. ve Ağar, E. 1991). Taşıma gücündeki azalma, projelendirme ağmasındaki tasarım hataları ve drenaj sistemlerinin hatalı ya da yetersiz olarak tasarlanmasıyla iliğkilendirilebilir. Deformasyon oluğmasının diğer sebepleri ise

trafik hacminin yoğunluğunun değışmesi sonucu oluşan bozucu etkiler, iklim ve hava ęatları ve asfalt betonunun özellikleri olarak özetlenebilir.

“Asfalt betonunun kendi özellikleri sebebiyle oluşan bozulmaları ise aşağıdaki nedenlere bağlamak mümkündür.

- ***Kötü malzeme kullanılması***

1. İyi seçilmemiş veya iyi kontrol edilmemiş gradasyon
2. Karışımında yüksek oranda yuvarlak malzeme (dere malzemesi) kullanılması
3. Çürük agrega kullanılması
4. Kirlı agrega kullanılması
5. Çabuk cilalanan agrega kullanılması

- ***Asfalt betonu karışımının hatalı hazırlanması***

1. Asfalt yüzdesinin hatalı olması
2. Filler (<0,074 mm) yüzdesinin hatalı olması
3. Gradasyonun hatalı olması
4. Yetersiz karıştırma
5. Yetersiz sıcaklık kontrolü

- ***Asfalt betonu kaplama yapımının hatalı olması***

1. Yetersiz sıkıştırma
2. Aşırı sıkıştırma
3. Serme-sıkıştırma sıcaklığının düşük olması
4. Yapım sırasında meydana gelen segregasyon
5. Astar veya yapıştırma tabakasının gerekli özenle yapılmaması”

(Umar, F. ve Ağar, E. 1991)

### 3.2.1 Şekil Değiştirme

Üstyapılarda sıklıkla görülen deformasyonlardan biri de çekil deformasyonudur. çekil deformasyonu, üstyapı yüzeyinin ilk bağta bulunan durumuna ve yüksekliğine göre çekil deformasyonuna uğramasıdır. çekil deformasyonu, tabii zemin, alt temel ve temel tabakalarının birbirleri arasındaki etkileşimlerine ve hareketlerine bağlı olabilir. Ayrıca çekil deformasyonu, esnek kaplamanın stabilitesinin yetersiz olmasından dolayı da oluşabilmektedir.

Stabilite, genel anlam olarak, karışım belli oranlarda yapımlı, serilmiş ve sıkıştırılma işlemi tamamlanmış esnek kaplamanın, değişik yüklere maruz kalması sonucu oluşacak çekil deformasyonlarına karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir.

Esnek kaplamanın stabilitesi, karışım içinde bulunan mineral agrega danelerinin birbirleri arasındaki kenetlenmesinden doğan iç sürtünmeden, karışım içerisindeki mineral agregayı saran asfalt filminin kohezyonu ve asfalt ile agrega arasındaki adhezyondan ve karışım içindeki mineral agreganın yer değiştirmeye karşı gösterdiği dirençten oluşur.

Esnek üstyapı için gerekli iç sürtünme, pürüzlü bir yüzeye sahip olan, köşeli, üniform ve sürekli granülometrilili, ve dayanımı yüksek agrega kullanılıp, düzgün bir sıkıştırma uygulanarak agrega ve bitüm arasındaki mekanik kenetlenmenin yüksek oranda sağlanması sonucu oluşturulur. Bağlayıcının sertlik oranı ne kadar arttırılırsa stabilite de o oranda artar. Bitümlü malzeme miktarının uygun değerde olması, oluşturulacak karışımın en yüksek düzeyde stabilizeyi vermesi açısından önemlidir.

Çeşitli nedenlerle maruz kalınan yükler altında ki deformasyonlar, geçici (elastik) deformasyonlar ve kalıcı (plastik) deformasyonlar olmak üzere iki ana bölümde incelenebilir. Esnek kaplamanın stabilize yüksek değerde olması, oluşacak toplam deformasyon için geçici deformasyonun miktarının yüksek olması, kalıcı deformasyon miktarının düşük olması anlamına gelmektedir. Esnek kaplamanın stabilitesinin düşük değerde olması ya da var olmaması halinde bu durum tam tersi

Çökilde iÇer. Buradan, sadece kalıcı deformasyonların oluÇuyor olması halinde stabilitenin olmadığı manası çıkarılabilir.

Sıcaklık miktarının yüksek değerde olması, esnek üstyapı tasarımında kullanılan asfaltın termoplastik özelliklerinden dolayı stabilitenin düÇük olması anlamına gelmektedir. Ayrıca esnek kaplama üzerine etki eden yüklerin tekrarlanması da kalıcı deformasyon miktarlarının artmasına neden olur.

ğekil değiÇirmeyi yedi farklı durumda incelemek mümkündür.

### 3.2.1.1 Oturmalar

Oturmalar, esnek kaplama tasarımındaki bitümlü tabakalara bağlı olmayan bozulma türüdür. Oturmalar, alt tabakalarda meydana gelen bozulmaların yüzeye etkimesi yani bir anlamda yansımadır (Umar, F. ve Ağar, E. 1991).

Oturmalar, tabii zemin üzerindeki alt tabakalarda yani temel, alt temeldeki kalınlıklarının yetersiz olması sebebi ile bu alt tabakalarda oluÇan oturmaların yansımaya, doğal zeminde oluÇan oturmaların yansımaya, yol kenarlarında ki banketlerden gelmesi beklenen yanal desteğin az olmasına, drenaj sistemlerinin yetersizliğine, yer altı su seviyesinin yüksek olmasına, kilin tabandan alt temel ve temele yükselerek alt temel ve temel tabakasını kirletmesine yani kilin yüzeye doğru yükselmesine bağlıdır.

Oturmalar, yol orta çizgisi boyunca ya da kenar Çeitlerde uzunlamasına ya da enlemesine oluÇur. Oturma eğrisi çok büyük olduğundan kaplama tabakası aynı Çekli almaya çalıÇarak ve çatlamayacaktır (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001).

Eğer kaplama asfalt betonu ise çok katı asfalt betonu kaplamalarının, alttaki tabakaların oturmalarına uyum gösteremeyeceğinden çatlamaların oluÇması mümkün olabilecektir (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001).

Oturmalar, esnek kaplama tasarımı sırasında alt tabakaların yani alt temel ve temel tabakalarının kalınlıklarının ve özelliklerinin yeterli olarak projelendirilmesi ve Çatnamelere uygun şekilde yapılmaları ile engellenebilir. Eğer yolun yapılacağı doğal zemin zayıf ise bu zayıf olan kısım sıkıştırılmalı veya stabilize edilmelidir.

### 3.2.1.2 Yerel Çökmeler

Yerel çökmeler, alt tabakaların (temel veya alt temel) yetersiz sıkıştırılması, drenaj sistemlerinin yetersiz olup bir noktada suyun birikmesi, alt tabakasının yetersiz alt tabakalar gibi yetersiz sıkıştırılması, kilin yükselip belirli bir yerde birikmesi ve temel tabakasının gelen yükleri karşılamayarak segregasyona yani ayrışmaya uğraması sonucu oluşurlar.

Yerel çökmelerin özelliği, küçük ve noktasal ya da dairesel alanlar (0,5 ile 1,5 m yarıçaplı) halinde ortaya çıkmalarıdır. Bu durum yerel çökmeleri oturmalarından ayıran özelliktir (Umar, F. ve Ağar, E. 1991).

Bu tip bozulmalar, inşaat sırasında zemin ve iklim koşullarının iyi şekilde belirlenerek proje tasarımının yapılması, içişin düzgün şekilde uygulanması, drenaj sistemlerinin şartlara uygun ve yeterli şekilde yapılması ve kilin yükselmesi riski göz önüne alınıp önlemlerinin alınması ile aşılır.

### 3.2.1.3 Tekerlek İzi Oluşması

Tekerlek izleri, kaplamanın altındaki bir ya da daha fazla tabakada, trafik tesirinin neden olduğu konsolidasyon ya da yanıl hareketler veya trafik yüklerinin etkisi nedeni ile kaplamanın kendisinden oluşuyen değişimler sonucu oluşurlar (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001).

Tekerlek izi oluşması genellikle, iyi analiz edilmemiş ve sorunlu zemine sahip, trafik yükleri ve hacmi fazla olan ve iklim şartları olarak sıcaklık değeri yüksek olan ülkelerde daha sık görülmektedir. Tekerlek izi oluşması, esnek kaplamalarda sıklıkla

görülen ve bozulma türleri arasında çok önemli kabul edilen bozulma türüdür (Umar, F. ve Ağar, E. 1991).

Tekerlek izi oluşması, oluşum sebeplerine bağlı olarak; alt tabakalara bağlı ya da bitümlü tabakalara bağlı olmak üzere iki farklı kısımda incelenir.

Alt tabakalara bağlı nedenler; alt tabakaların yani temel ya da alt temel tabakalarının yetersiz hesaplanması ve doğal zeminin veya alt tabakaların konsolidasyona maruz kalması ve doğal zemin ile üst tabakaların yanal hareketleri olmak üzere üç adettir (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001).

Bitümlü tabakalara bağlı nedenler ise; esnek kaplamada kullanılan karışımın stabilitesinin yetersiz oluşu ağırın tabakasında sıkıştırmanın düzgün ve yeterli şekilde yapılmaması ve yüksek hacimli trafik etkileri altında ağırın tabakasının trafiğe açılmasından sonra fazla sıkışması olarak açıklanabilir (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001).

Ayrıca esnek kaplamada kullanılan karışımın stabilitesinin yetersiz oluşu karışım içinde yuvarlak agrega yani der malzemesi kullanılması, karışımda optimum değere göre asfalt yüzdesinin daha yüksek seçilmesi, karışımda kullanılması gereken filler yüzdesinin fazla olması ve sıcaklığın fazla oldu bölgelerde penetrasyon değeri yüksek yani yumuşak asfalt kullanılması olarak açıklanabilir.

Bu sebeplerden birinin ya da birden fazlasının birlikte oluşması halinde tekerlek izi oluşmasına yol açan çevre etkileri, esnek kaplamanın uygulanacağı bölgede ağırın sıcaklıkların olması, yer altı su seviyesini yüzeye yakın ya da yüksek olması, trafik hacminin yüksek değerde olması ve bu yüklerin tekrarlanmasının fazla oranda olması şeklinde açıklanabilir.

Çevresel etkiler de açıklanan trafik etkisi, trafiğin hacmi ve içeriği yani taçıt yüzdeleri ve türlerine, dingil yüklerine, araçların temas etme basıncına ve taçıt hızlarına, ağırlığına bağlıdır.

Tekerlek izi oluşmasının önlenmesi, ekonomik açıdan önemli kabul edildiğinden kolektif bir çalışmagerektirmektedir. Esnek kaplamalar, inÇaedilen bölgenin iklim ve trafik koÇularına uygun olarak uygulanmıÇyeterli kalınlık ve özellikteki zemin, alt temel ve temeller üzerinde kullanılmalıdır. Ayrıca, asfalt betonu için uygulama yapılacak bölgelerin iklim ve trafik koÇularına uygun, deformasyonlara karÇı dayanımı yüksek dizaynlar üretilmelidir. Özellikle sıcaklığı yüksek bölgelerde Çatnamelerin izin verdiği azami ölçütlerde düÇük penetrasyonlu (sert) bağlayıcılar kullanılarak çözüm sağlanabilir.

#### 3.2.1.4 Ondülasyonlar

Ondülasyon, yol üzerinde trafiğin akıÇına göre enine doğrultuda oluşun ve aralıkları yaklaÇık olarak eÇit olan belirli bir biçimde dalgaya benzeyen satıh deformasyonları olarak açıklanabilir (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001).

Asfalt betonu karıÇımların stabilite yetersizliğine bağlı bozulmalardır. Yalnızca bitümlü tabakalar içinde oluşur. Alt tabakalarla ilgili değildir. Ondülasyonların önlenmesi için yüksek stabilitesi karıÇımlar kullanmak gerekir (Umar, F. ve AĞar, E. 1991).

#### 3.2.1.5 Kabarmalar

Kabarmalar, zeminin veya üstyapı tabakalarının don etkisi sonucu ÇiÇe göstermesi sonucu oluşun yerel bozulmalardır. Bu açıklamadan anlaÇılacağı gibi kabarmaların oluşmasının asıl sebebi don etkisidir. Ayrıca killi zeminlerin ÇiÇe etkisi gösterebilme yeteneği yüksek olduğu için esnek kaplamalarda kabarmaya yol açabilirler (Umar, F. ve AĞar, E. 1991).

Kabarmaların oluşması için en önemli önlem olarak üstyapı projelendirmesinde don etkisi dikkate alınmalı, ÇiÇe potansiyeli olan zeminlerde, üstyapı inÇaedilmeden, yeterli drenaj sistemlerinin kurulması, stabilizasyonun yeterli Çilde sağlanması gibi önlemler düÇünmelidir (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001).

### 3.2.1.6 Yığılmalar

Esnek kaplamanın üst kısmının, sıcak havalarda tekerleklerin mekanik etkisi ile yolu öteleyerek, yol eksenine dik ya da paralel olarak yığılmasıdır (Umar, F. ve Ağar, E. 1991). Diğer anlamda yığılmalar, plastik bir hareket sonucu asfalt kaplama saatinde oluşan lokal tümsek ve çukulluklardır. Yığılmalar, özellikle trafiğin durup kalktığı yerlerde, inişlerde, araçların fren yaptığı kısımlarda ve keskin kurplarda oluşurlar (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001).

Stabilite yetersizliklerine, yüksek sıcaklıklara ve tabakalar arasında yapıştırma tabakası yokluğuna veya çok bol yapıştırıcı kullanılmasına bağlıdır (Umar, F. ve Ağar, E. 1991).

Yığılmaların önlenmesi, uygulanacak karışımın stabilitesinin yüksek olması ve ıatnamelerin ve koşulların izin verdiği ölçüde düşük penetrasyonlu yani sert bağlayıcı kullanmak ile mümkündür.

### 3.2.1.7 Lastik Deseni Oluşması

Lastik deseni oluşması, taşıtın lastik izlerinin esnek kaplama yüzeyine çıkmasıdır. Lastik desenine bir bozulma türü demek uygun değildir, fakat nedenleri incelendiğinde diğer bozulma türleri adına fikir vermektedir (Umar, F. ve Ağar, E. 1991).

Örneğin, ağır taşıtın uzun süreli park halinde kalmasından dolayı oluşuyorsa, bu durum stabilite yetersizliğine bağlanabilir. Eğer bu lastik deseni, hareket eden taşıt tarafından oluşturuluyorsa, bu durum kaplamanın bu bölgesinde kusma gerçekleştini gösterir (Umar, F. ve Ağar, E. 1991).

Yukarıda açıklanan nedenler göz önüne alındığına lastik deseni oluşmasını engellemek için karışımın yüksek stabiliteli olmasını sağlamak ve kusmayı önleyici önlemler almak bu soruna çare olacaktır.



### 3.2.2 Çatlamalar

Esnek kaplamada oluşan çatlamları; üzerinde maruz kaldığı trafiğin etkisine bağlı çatlamlar ve üzerinde maruz kaldığı trafiğin etkisine bağlı olmayan çatlamlar olmak üzere iki şekilde incelemek mümkündür.

Trafik etkisine bağlı olan çatlamlar;

- Ağır dingil yüklerinin bir seferde veya birkaç defa geçmesi sonucunda,
- Ağır dingil yüklerinin yüksek sayıda (mükerrer) geçmesi sonucunda

oluşurlar. Ağır dingil yüklerinin yüksek sayıda (mükerrer) geçmesi sonucu oluşan çatlamlara, yorulma çatlakları denir.

Birinci hal ve ikinci hal arasındaki fark, ağır dingil yükünün oluşturduğu gerilme esnek kaplamanın eğilme-çekme direncini aşmaktadır. Yorulma çatlaklarında ise eğilme-çekme direnci aşınamakta ancak ağır dingil yüklerinin meydana getirdiği kalıcı deformasyonlar, yüksek sayıda tekrar edilmesi dolayısı ile birikime uğramaktadır (Umar, F. ve Açar, E. 1991). Ayrıca ağır dingil yüklerinin dışında diğer taşıtların ani hızlanma ve yavaşlamaları da çatlamlara yol açabilir.

Çatlamalar, sadece trafik yüklerine bağlı kalarak değil çevrenin etkisi, sıcaklığın değişimi ve nem oranının değişimi ile de oluşabilirler.

#### 3.2.2.1 Timsah Sırtı Çatlaklar

Esnek kaplamanın birbiriyle etkileşim halinde olan parçaların bir bütün halinde çatlamasıdır. Trafik etkileri altında maruz kalınan yüksek taşı yükleri, asfalt betonunda ve alt tabakalarda oluşan hacim değişiklikleri timsah sırtı çatlaklara sebep olabilir (Umar, F. ve Açar, E. 1991). Karışımın kırılgen gevrekliği ve soğuk havalarda oluşen gevreklik nedeni ile de oluşabilir. Timsah sırtı çatlakların ortaya çıkmasında en genel neden aşırı deformasyonlardır (İlcalı, M. ve diğer., 2001).

### 3.2.2.2 Yorulma Çatlakları

Birbiriyle etkileşim halinde olan küçük bloklar üzerinde meydana gelen çatlama türüdür. Taşı yüklerinin çok sayıda tekrür etmesi ile yorulma çatlakları meydana gelir (Umar, F. ve Ağar, E. 1991).

Önlem olarak, kaplama çok iyi sıkıştırılmış (boşluk yüzdesi minimum) olmalı, sert bitüm kullanılmalı ve bitüm yüzdesi, optimum bitüm yüzdesinden biraz (%1 civarında) fazla olmalıdır (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001).

### 3.2.2.3 Büzülme Çatlakları

Büzülme çatlakları, yapısal olarak timsah sırtı çatlamlar gibi meydana gelen çatlaklardır. Büzülme çatlaklarının timsah sırtı çatlaklarından ve yorulma çatlaklarından yapısal olarak farkı, birbirleri ile temas halinde bulunan blokların büyük boyutlarda olmaları, keskin açılı ve genellikle dik açılı olmalarıdır (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001). Meydana gelen çatlakların genişliği çatlakların oluşması hakkında bilgi verir.

Büzülme çatlakları, genel olarak asfalt betonunun kendi içinde ya da temel veya zeminde meydana gelen hacim değişiklikleri sonucu oluşur.

### 3.2.2.4 Kenar Çatlakları

Kenar çatlakları, kaplama kenarına göre 30 cm içeride ve ana yol eksenine paralel (boyuna) olarak oluşurlar. Bu duruma ana sebep olarak yol kenarında ki banketlerin yeterli ölçüde yanıl destek sağlamadığı bölgelerde belirir.

Kenar çatlaklarının oluşum sebepleri;

- Drenaj sistemlerinin yetersiz oluşu
- Banketlerin sağladığı yanıl desteğin yetersiz oluşu

- İklim Çatlarından dolayı meydana gelen don etkisi,
- Esnek üstyapı ile banket arasında nem farkının beklenenden fazla olması sonucu banketlerin büzülmesi

olarak açıklanabilir (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001). Esnek kaplama kenarına çok yakın bulunan bitkiler ve ağaçlar yoluz bulunduğu zeminden ya da tabakalardan su çekmek sureti ile bu tip çatlaklar oluşabilir.

#### 3.2.2.5 Derz Çatlakları

Esnek kaplamalar üzerinde yolun iki Çeidi arasında meydana gelen çatlak türüdür. İnalat aşamasında meydana gelen hatalarından dolayı ortaya çıkabilirler.

Bu imalat hatalarına örnek olarak, ikinci Çeide dökülürken ya da bir gün önce dökülen Çeide ertesi gün devam edilmesi durumunda yeterli bindirmenin hesaplanmayıp yapılmaması sonucu zamanla iki Çeidin ya da bir Çeidin birbirinden ayrılmasına yol açar (Umar, F. ve Ağar, E. 1991). Bu durum sonucunda ortaya çıkan çatlak, geçirimsizliğin artmasına neden olduğu gibi başka bir bozulma türü olan ayrımların bağlanmasına sebep olur.

#### 3.2.2.6 Enine Çatlaklar

Enine çatlaklar yol eksenine dik açıda meydana gelen çatlak türüdür. Enine çatlaklar, bir anda oluşan sıcaklık düşmelerinin esnek kaplama üzerinde meydana getirdiği gerilmelerden ya da inçaat sırasında karışımın serilmesiyle görevli sericinin uzun süreli duraklamalarla görevini yerine getirmesi nedeniyle meydana gelmektedir (Umar, F. ve Ağar, E. 1991). Daha önce de değinilen diğer çatlak tiplerine sebep olan, örneğin yetersiz seçilen üstyapı kalınlığı, yetersiz kalan drenaj sistemi gibi nedenler enine çatlak oluşmasına olanak sağlayabilirler.

### 3.2.2.7 Yansıma Çatlakları

Yansıma çatlakları, genellikle rijit kaplamaların üzerine takviye tabakası olması amacıyla uygulanan asfalt betonu kaplamalarda görülür. Ağır tabakalarda bulunan rijit kaplamanın üzerinde bulunan derzler ve çatlaklar esnek kaplamanın üzerine yansır (Umar, F. ve Ağar, E. 1991). Yansıma çatlakları; enine, boyuna,diyagonal veya blok şeklinde olabilir (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001).

Takviye olarak eklenen esnek tabakanın veya rijit kaplamanın kalınlığının ince olması, rijit kaplama üzerinden yansıyan bu yansıma çatlaklarının meydana gelmesini hızlandırır.

Ortaya çıkan yansıma çatlaklarının engellenmesi için, rijit kaplamanın üzerinde bulunan derz ve bozulmaların, takviye edilmeden önce, düzgün bir şekilde tamir edilmesi gerekmekte ve takviye tabakası için minimum kalınlık şartına (10 cm.) uyulması gerekmektedir (Umar, F. ve Ağar, E. 1991).

### 3.2.2.8 Öteleme (Yüzey Kayması) Çatlakları

Öteleme çatlakları, yüzeyde bulunan asfalt tabakasının, trafikten gelen tekerlek yüklerinin oluşturduğu kuvvetlerin etkisi ile altında bulunan tabaka üzerinden kayarak yarım dairesel (iç içe hilaller) şeklinde çatlama (Umar, F. ve Ağar, E. 1991).

Ağır araçların ani fren yaptıkları yerlerde (çukur ve kavaklarda) oluşabilirler. Bu çatlaklar, tekerleklerin satıha yaptığı tesire göre parabolik şekilde oluşurlar. Bu tür çatlaklara parabolik çatlaklar da denir (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001).

Ötelenme çatlaklarının oluşum sebepleri,

- Yüzeyde bulunan asfalt tabakasının alt tabakaya iyi yapışmamasından,
- Üst üste bulunan iki tabaka arasındaki bağ (yapıştırma) yetersizliği,

- Tasarımda yapıdırma tabakasının gözden kaçırılması ya da hesap edilmemesi,
- İki tabakayı yapıdırma görevli yapıdırıcının çok miktarda kullanılması,
- İki tabaka arasında yapıdırıcı uygulanmasından sonra çok uzun süre bekleme yüzünden tozlanması ya da ıslanması

olarak özetlenebilir.

Karıdırımın tasarımında elde edilen çekme direnci ve tabakanın kalınlığı ötelenme çatlamalarına engellemeye yardımcı olur. Bu yüzden mümkün olduğunca kalın tasarlanan tabakalarda ötelenme çatlaklarının oluşması ihtimali daha azdır.

### 3.2.3 Ayrışmalar

Ayrışma genel anlamda agrega danelerinin iklim şartlarının ve trafikten gelen yüklerin getirdiği etki sonucu kaplamanın yüzeyinden koparak ayrılmasıdır.

Ayrışmalar arasında incelenebilecek bozulma türlerine örnek olarak, bitümlü bağlayıcının üzerini sardığı agregadan ayrılması ile oluşan “soyulma”, bitümlü bağlayıcının yine aynı şekilde üzerini sardığı agregadan ayrılarak yüzeye çıkması ile meydana gelen “kusma” ve yolun yüzey özelliklerinin belirlenmesi için özel olarak incelenmesi gereken ve yolun güvenliği ölçütünün verisi olan, karıdırım içinde bulunan agreganın pürüzlülüğünü kaybetmesiyle oluşan “cilalanma” verilebilir (Umar, F. ve Ağar, E. 1991).

Ayrışma, esnek kaplamalı üstyapılarda en fazla rastlanan bozulma türlerinden biridir.

*“ Ayrışmaya yol açan nedenler :*

- a) Bağlayıcının (asfaltın) mekanik etki ile kopması*
- b) Karıdırımın kötü kalitede olması*

1. *Düşük asfalt yüzdesi*
2. *Çok düşük veya çok yüksek filler yüzdesi*
3. *Kirli ve çürük agrega kullanılması*
- c) *Yüzey tabakasının ince olması*
- d) *Granüler alt temel ve temele tabandan kil yükselmesi*
- e) *Drenaj yetersizliği*
- f) *Yetersiz sıkıştırma*
- g) *Nemli ve soğuk havada yapım*
- h) *Kirli ve çürük agrega kullanılması*
- i) *Plentte asfaltın aşırı ısıtılması*
- j) *Yapım sırasında segregasyon oluşması*
- k) *Ayrışmayı kolaylaştıracak derecede kusma oluşması*
- l) *Kimyasal maddelerin (özellikle tuz ve yağların) etkisi*
- m) *Yüzey tabakasının alt tabakaya iyi yapışmaması*
- n) *Su ve kil etkisiyle soyulma”*

(Umar, F. ve Ağar, E. 1991).

Yukarıda sayılan nedenlerin her biri tek başına ayrıçmaya neden olmaz. Ayrıçma, yukarıda sayılan nedenlerin birkaçının bir araya gelmesi sonucu, kaplama üzerine etki eden trafiğin mekanik etkisi ile olur. Ayrıçmatürü bozulmanın en karakteristik özelliklerinden bazıları zamanla artış göstermesi ve sürekli olmasıdır. Ayrıçma, kaplamanın proje ömrünü kısaltır ayrıca bunun yanında yolun güvenlik ve konfor ölçütlerini azaltır.

Ayrıçma türleri Çu Çküllerde incelenebilir.

### 3.2.3.1 Folluk Tipi Oyuklar

Folluk tipi oyuklar genel olarak, dairesel Çkilde 25 ile 75 cm arasında değiçen çaplara sahip olan oyukların meydana gelmesi ile olur.

Bitümlü bağlayıcının (asfaltın) üzerine gelen mekanik etkiler sonucu ile kopması, üretilen karışımın kalitesinin düşük olması, yüzeyi oluşturan ağına tabakasının kalınlığının ince olması, zeminden alt temel ve temel tabakalarına kil yükselmesi, ortam şartlarına bağlı olarak drenaj çözümlerinin yetersiz kalması ve uygulama sırasında yetersiz sıkıştırma yapılması, folluk tipi oyukların ana etkenleri olarak gösterilebilirler (Umar, F. ve Ağar, E. 1991).

Folluk tipi oyukların önlenmesi için, karışımın ve karışımında kullanılan bitümlü bağlayıcının kaliteli hazırlanması, üstyapı tasarımında iklim şartlarının ve üzerine gelecek trafik hacminin göz önüne alınması, drenaj sistemlerin yeterli ve uygun şekilde kurulması ve uygulama sırasında sıkıştırma işlemlerinin düzgün ve kaliteli şekilde yapılması gerekmektedir.

### 3.2.3.2 Sökülmeler

Sökülmeler ise, ağına tabakası yüzeyinden alt tabakalara doğru veya kaplama kenarlarından iç kısma doğru karışım içerisinde ki agregaların zamana bağlı olarak yüzey üzerinden koparak ayrılmasıdır. Sökülmelerin oluşmasına neden olan ana etkenler ise, uygunla esnasında sıkıştırmanın yanlış ya da yetersiz yapılması, soğuk hava şartlarında uygulamanın sürdürülmesi, karışım içerisinde kullanılan agreganın dayanıksız ya da temizlenmemiş olması, bitümlü bağlayıcının gereğinden fazla ısıtılması, uygulama sırasında iççik hatalarına bağlı olarak segregasyon (ayırma) oluşması, ortamda kimyasal maddelerin (özellikle tuz ve yağların) bulunması ve yine ortam koşullarına bağlı olarak kuma oluşması şeklinde sıralanabilir.

### 3.2.3.3 Tabaka Halinde Sökülmeler

Tabaka halinde sökülmeler, kaplama üzerinde ki ağına tabakası kalınlığının ince olması, alt tabakalar ile ağına tabakası yüzeyi arasında yapıştırma tabakası kullanılmaması ve bitümlü bağlayıcı ile yapılan yapıştırmanın yetersiz ya da yanlış uygulanması sebebi ile oluşan bozulma türleridir. Bu tür bozulmalar, genellikle

derz çatlaklarının oluştuğu bölgelerde daha sık kendini gösterir (Umar, F. ve Ağar, E. 1991).

#### 3.2.3.4 Soyulma

Soyulma, karışımında bulunan agrega danelerinin birbirine kenetlenmesine olanak veren asfalt filminin; suyun varlığı, kilin varlığı ve kaplama üzerinde bulunan trafiğin mekanik etkisi ile agregadan ayrılması ile oluşur. Soyulma sonucunda ince asfalt filminden kurtulan agrega daneleri çıplak kalır (Umar, F. ve Ağar, E. 1991). Kuru ve temiz mıcır kullanımı, iyi bağlayıcı karakteri olan asfalt, yüksek asfalt oranı ve yüksek viskoziteli asfalt kullanımı soyulmayı azaltır (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001).

#### 3.2.3.5 Kayganlık

Kayganlık, yüzey özelliklerinin incelenmesinde ki önemli ölçütlerden biridir. Kayganlık, kaplama üzerine intikal eden taşı yüklerinin aşındırıcı etkisi ya da ortam şartlarına göre gelişen kuma nedeni oluşur. Kayganlık sonucu kaplamanın kaymaya karşı direnci azalır yani sürtünme katsayısının düşer (Umar, F. ve Ağar, E. 1991). Kayganlık, özellikle yağış olması ya da kaplamanın ıslak olması halinde taşıların seyir güvenliğini büyük ölçüde azaltır. Bu sebeple dikkat edilmesi gereken önemli bir bozulma tipidir. Ayrıca bir sonra ki bölümde değinilen cilalanma da kayganlığa sebebiyet verir.

#### 3.2.3.6 Cilalanma

Yüzey özelliklerinin incelenmesinde ki önemli ölçütlerden biri de cilalanmadır. Özellikle kalker cinsi agregalar, üretim aşamasında köşeli ve pürüzlü olsalar da, üzerlerine etkiyen trafik yüklerinin ve lastik temaslarının aşındırma etkisi ile köşeli yapılarını ve pürüzlülüklerini kaybederek cilalı bir hal alırlar (Umar, F. ve Ağar, E. 1991). Bu sebeple kaplama ile lastik arasındaki sürtünme katsayısı, özellikle kaplamanın ıslak olması halinde düşer ve kaymalara sebep olur.



### 3.2.3.7 Kasma

Kasma, karışımıçinde bulunan bitümlü bağlayıcının (asfaltın), sıcaklık artışı ile yüzeye doğru yükselerek yüzeye ulaşması ve yüzeyde kalın bir asfalt filmi meydana getirmesi olayına denir. Kasma, olayı gerçekleştikten sonra yüzeyde bulunan agregalar tamamen asfalt filmi ile kaplandığından kaplama pürüzlülük özelliğini yitirir ve dolayısı ile kaplamanın sürtünme katsayısı düşmektedir (Umar, F. ve Ağar, E. 1991).

Kasma genellikle, asfalt yüzdesi yüksek olan karışımlarda ve sıcak hava şartlarının fazla olduğu bölgelerde ortaya çıkar. Güneş ışığı altında satının parlaması, satının kasmaya yüz tutacağıının göstergesidir (Ilıcalı, M. ve diğer., 2001). Trafik hacminin fazla olduğu, çok ağır dingil yüklerinin etkidiği yerlerde, basınçla etkisiyle asfalt yüzeye çıkabilir. Karışımdaki asfalt yüzdesi optimum olmasına rağmen, dizayn aşamasında karışım için tasarlanan boşluk yüzdesi çok düşükse, sıcak havaların etkisiyle genleşme ve boşluk bulamayan asfalt yine yüzeye çıkma eğilimi gösterecektir. Ayrıca gereğinden kalın serilen astar veya yapıştırma tabakaları da kasmaya sebep olabilir.

Yukarıda sayılan bozulmalar genellikle birbirlerine bağlıdır. Biri diğerini deyişle, karışıklı olarak birbirlerinin neden ve bu nedenlere bağlı sonucudurlar. Zincirleme olarak ilerleyici karakterdedirler. Örneğin, oturma çatlamaya, çatlama timsah sırtı çatlamaya, timsah sırtı çatlama zamanla folluk tipi oyulmaya dönüşür. (Umar, F. ve Ağar, E. 1991)

### 3.3 Rijit Kaplamalarda Bozulma Türleri

Rijit kaplamalarda oluşabilecek bozulmaların bakımında ve onarımında amaç, kalifiye işçilik kullanılarak ve uygun imalat yöntemlerine uygulanarak bakım ve onarım işlerini en aza indirgeyebilmektedir. Genellikle rijit kaplamalarda oluşan bozulmalar ve hasarlar, imalat aşamasında uygulanan işçilik hataları, yanlış malzeme

ve ekipman seçimi, inşaat uygulanacak alanın ve zeminin özelliklerinin iyi saptanmayıp tasarım hatasına dönüşmesiyle oluşur.

Rijit kaplamaların yüzeyinde görülebilecek kusurların nedenleri araştırılmalı ve düzeltilmelidir. Eğer bu kusurları giderme süreci gecikirse, ilk başta oluşan ufak boyutlu çatlaklar zamanla genişleyerek büyük çukurlara dönüşür. Rijit kaplamalarda yol yüzeyi, asgari oranda senede 1 kez olmak üzere incelenmeli ve yüzeyde oluşan hasar ve çatlaklar giderilmelidir. Bu şekilde düzenli olarak her yıl yapılan bakım ve onarım çalışmalarının sonucunda bakım ve onarım maliyetlerini ciddi oranda düşürür

Rijit üstyapılarda oluşan bozulmaları; çatlakların oluşması, çukurların oluşması, beton plaklarda meydana gelen oturmalar, beton kaplama yüzeyindeki genleşme derzlerinin üzerinde oluşan bozulmalar, rijit üstyapının bulunduğu yere yapılacak alt yapı çalışmalarının neden olduğu bozulmalar, rijit kaplamalarda yüzeysel pürüzlülüğün azalması şeklinde sıralamak mümkündür (Ağar. E. , Süttaş ve Öztan. G. 1998).

### **3.3.1 Çatlaklar**

Rijit üstyapı inşaat çalışmalarının tamamlanmasından sonra, beton yol üzerinde oluşan trafik etkilerine maruz kalması sonucu, zamanla beton plak üzerinde çatlaklar meydana gelir. Oluşan bu çatlaklar sadece yüzeysel çatlaklar olabildiği gibi aynı zamanda beton plağın tüm kalınlığı aşarak tabakalara doğru uzayan çatlaklar olabilir (Ağar. E. , Süttaş ve Öztan. G. 1998).

Oluşan bu çatlaklara onarım ve bakım işlemleri uygulanmadan önce, oluşan bu çatlakların var olmasına neden olan etkenleri irdelemek daha doğru olacaktır.

#### *3.3.1.1 Projelendirme Hataları*

*3.3.1.1.1 Plak Kalınlığı Yetersizliği.* Rijit üstyapıların tasarımı yapılırken, göz önüne alınan standartlara ve ortam koşullarına göre bir plak kalınlığı seçilir. Eğer bir

rijit üstyapının kalınlığı gerekli koşullar atlanıp gereğinden daha ince tasarlanır ise, üzerinde taşıdığı trafik hacminden gelen yüke karşı direnci azalır (Ağar. E. , Süttaş.Ş ve Öztaş.Ş. 1998). Sonuç olarak yetersiz plak kalınlığı sonucunda, bütün beton plak kalınlığı boyunca kırılması şeklinde görülen çatlaklarla meydana gelir.

*3.3.1.1.2 Uygun Olmayan Derz Aralıkları.* Rijit üstyapı inşaatı için derz aralıklarının hesabı için geliştirilmiş bir yöntem ya da standart geliştirilmemiştir. Bu sebepten dolayı, yapılan uygulamalardan elde edilen tecrübeler ışığında, yarım derz aralıklarının 6 ile 9 metre , genleşmederz aralıklarının ise 25 ila 35 metre civarında olması önerilmektedir (Ağar. E. , Süttaş.Ş ve Öztaş.Ş. 1998). Eğer bu değerlerin altında açıklık yapılırsa, bu açıklıklar yolun konforunu ve sürüş maliyetini negatif yönde etkilemektedir. Önerilen değerlerin çok üzerindeki açıklık yapılırsa çatlakların oluşmasına neden olmaktadır.

*3.3.1.1.3 İklim Etkisinin İhmali.* İklim koşullarının çok soğuk etki etmesi, çok sıcak etki etmesi ya da gün içindeki sıcaklık farklarında büyük değişimlerin meydana gelmesi, betonun plakların kimyasal ya da fiziksel yapısı gereği ani gerilmeler oluşmasına neden olur.

Beton plaklarda ani sıcaklık farklarından oluşan bu gerilme ve gerilmeler sonucu oluşan deformasyonlar, büyük ölçüde genleşme derzleri ile karşılanır, bunun yanında beton plakların alt kısmında imal edilecek bir kaplama altı tabakası da bu gerilme deformasyonların karşılanmasında destek olur (Ağar. E. , Süttaş.Ş ve Öztaş.Ş. 1998).

*3.3.1.1.4 Ağır Yükleme.* Rijit üstyapıların tasarımı sırasında dikkat edilmesi gereken ölçütlerden biri de tasarlanan rijit üstyapı üzerinde yer alacak trafiğin getireceği yük etkisidir.

Taşıyıcılarının gerek tekrür sayısı, gerekse tonaj itibarıyla düşürülmesi veya artırdığı tahminlerde hataya düşme olması durumlarında, hesaplanmış olan geometrik boyutların yetersiz kalması, öngörülenin üzerindeki yüklemeler ve bunun

doğuracağı gerilmeler sonunda beton plakta çatlamlar olmaktadır. (Ağar. E. , SütüÇ.Ė ve ÖztüÇ. G 1998)

*3.3.1.1.5 Betonun Bileşim Hesaplarındaki Hatalar.* Bir rijit üstyapının tasarımı için yapılan hesaplamaların asıl amacı belirlenen gradasyona sahip belirli miktardaki agreganın, yine daha önceden belirlenen belirli bir miktardaki su ve çimento ile bağlanması, tasarlanan dirençte, boşluksuz veya Çartname sınırlarını aşmayan boşluk oranındaki betonun üretilmesidir (Ağar. E. , SütüÇ.Ė ve ÖztüÇ. G 1998).

Tasarım aşamasında yapılan hesaplama hataları sonucunda, boşluk oranı fazla, dayanımı beklenenden çok düşük bir beton yol meydana getirilir. Hatalı tasarım yapılan bu beton yolun öngörülen trafik yüklerine dayanması beklenemez. Bu dayanımdaki düşüklük, beton plak üzerinde çatlama oluşmasına neden olur.

### *3.3.1.2 İnşaat Hataları*

*3.3.1.2.1 Erken veya Geç Perdah.* Rijit üstyapı inşaatı aşamasında betonun dökümünden sonra beton plak, hava Çartlarından dolayı priz alma sırasında rötre ve Çiğme etkisine maruz kalır. Beton plaklardaki en büyük sorunlardan biri rötre gerilmeleridir. Rötre gerilmeleri, prizini almakta olan bir beton yüzeyinde gözle görülür büyüklükte yüzeysel çatlaklar oluşturur (Ağar. E. , SütüÇ.Ė ve ÖztüÇ. G. 1998).

Rötre olayının sebep olduğu bu çatlakları engellemek için beton plak yüzeyinde perdahlama işleminin uygulanmaktadır. Yalnız bu perdahlama işleminin zamanlamasının doğru yapılması gerekir. Eğer perdahlama işleminin gerekenden önce yapılırsa, perdahlama işleminin engelleyici etki göstermez ve rötre sırasında çatlak oluşumu devam eder. Eğer perdahlama işleminin gerekenden geç yapılırsa çatlak oluşumları sabitleşir ve kapatılması imkânsızlaşır. Meydana gelen bu yüzeysel çatlaklar, beton plak üzerinde bulunduğu kesimlerde kesitin zayıflamasına sebep olur. Kesit zayıflaması sonucu yüzeysel çatlaklar büyüyerek önce tam kalınlık çatlaklarına ve daha sonra iyice artarak çukurlara yol açar.

*3.3.1.2.2 Derz Yapımındaki İmalat Hataları.* Beton yol inşaatlarında uygulanan inşaat derzi uygulamaları, yarım derzler, genleşme derzleri uzmanlık gerektiren ve dikkat edilmesi gereken uygulamalardır. Burada önemli olan nokta şudur; yol yüzeyi üzerinde uygulanan derzler, yol üzerinde uygulandıkları yol kesitlerinin dayanımında azalmaya neden olur fakat bu derzler uygulanan yolun proje ömrünün daha fazla olması için yapılması zorunlu olan yol elemanlarıdır.

Derz uygulamalarına örnek olarak şunlar verilebilir.

- Yarım derz bırakılacak bölgede oyuklarının açılması ve derz içlerinin uygun malzeme ile doldurulması,
- Genleşme derzi uygulamalarında gerekli olan açıklığın düzgün bir şekilde bırakılması,
- Derzlerin içlerine yerleştirilecek kayma demirlerinin istenen standartlara uygun olarak yerleştirilmesi,
- Derz boşluklarının yapılması zorunlu olan şekilde gibi doldurulması,

*3.3.1.2.3 Altyapının Sağlam Olmaması.* Esnek kaplamaların aksine, rijit kaplama üzerlerine etkiyen trafik yüklerini aşınma tabakalarıyla beraber alt tabakalar değil sadece beton yol plakları taşıyır. Bu sebeple trafik hacmi etkisiyle oluşan yük ve gerilmeleri altyapıya yansıtmadıkları düşündürür. Yalnız rijit üst yapı uygulamalarında elde edilen deneyimler göstermiştir ki, beton yol plağını alttan destekleyen tabii zemininin dayanıklı olması, beton plağın ömrü artmaktadır. Bu durumun tam aksi düşündürse aynı şekilde tabii zeminde oluşan olumsuz durumlar beton plağa yansır. Bu olumsuz durumlar şöyle örneklenebilir.

- Tabii zeminde yapısından dolayı noktasal bir oturma geçirirse, oturma olan bölgede çekme gerilmeleri artar ve beton plakta çatlaklar oluşmasına neden olur.
- Tabii zeminde yine ortam koşullarına ve yapısına bağlı olarak pompaj etkisi varsa, beton yol plağı altında oluşacak boşalmasebebiyle mesnetsiz kalır. Bu da çatlamalara sebep olur.

*3.3.1.2.4 Homojen Olmayan Beton.* ğantiye ortamında beton karışımının döküme geçilmeden önce belli bir süre karışması gerekir. Eğer bu karıştırma işlemi için gerekli süre sağlanmadan döküme geçilirse beton karışım ayrışmaya uğrar. Ayrışan beton, farklı bölgelerde farklı davranış gösterir. Gerekli karışım sağlanmadığı için dayanımı zayıf olan beton çatlama ve kırılma gösterebilir.

*3.3.1.2.5 Sıkıştırma Hataları veya Yokluğu.* ğantiye ortamında beton karışımının dökümüne geçildikten sonra betonun gerekli ve en önemlisi yeterli süre içinde vibratörle sıkıştırılmalıdır. Eğer bu vibrasyonun işlemi hiç uygulanmaz yada gereğinden az süre uygulanırsa, yoğunluğu düşük (boğluklu), dayanımın düşük bir beton karışım oluşmasına neden olur. Aynı şekilde vibrasyon işlemi gerekli olan süreden daha fazla uzun sürede uygulanırsa, titreşimden dolayı ağır olan iri agregalar dibe iner, hafif olan ince agregalar ve çimento şebeti yukarıda kalır. Bu durumda homojen olmayan bir beton kütlesi meydana gelir. Bu sebeple vibrasyon işlemi de özel bir deneyim gerektirmektedir.

*3.3.1.2.6 Malzeme Kalitesindeki Yetersizlik.* Eğer beton karışımında kaliteli malzeme kullanılmamış ise her ne kadar diğer işlemler ve gerekli şatlar yerine getirilse dahi beklenen dayanımda beton elde edilemez. Malzeme kalitesizliği, öncelikle çatlak oluşumuna sebep olarak kendini gösterir.

Bu duruma çözümler olarak uygulama öncesinde, karışımda kullanılacak her malzemenin kalite kontrol deneylerinin yapılması ve özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

*3.3.1.2.7 Dökülen Betonun Korumadaki İhmal ve Yetersizlik.* Beton dökümü düzgün bir şekilde yapılsa dahi dökümden sonra betonun bakımlarının tam ve yeterli seviyede yapılması gerekir. Kür işleminin yapılmaması, döküm üzerine kontrol dışı su gelmesi ve betonun hidrasyon ısısının kontrol edilmemesi, beton plağın dayanımını düşürür Bu durumda proje aşamasında hesap edilen öngörölmüş trafik hacmine maruz kalan kusurlu beton plakta çatlaklar meydana gelmektedir.

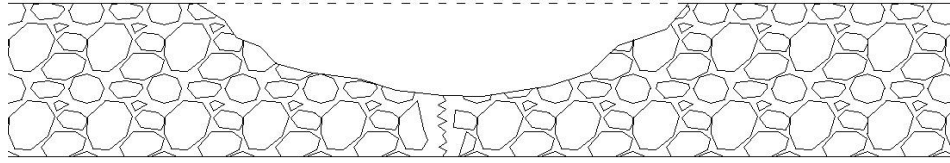
### 3.3.2 Çukurlar

Bir beton yol üzerinde, bozulmanın başlangıcı olarak görülen çizgisel çatlakların yüzeysel bir bozulma olan çukurlara dönüşmesinin sebebi,

- Daha önceden oluşmuş çizgisel çatlakların ihmal edilip nedenlerinin tespit edilip onarılmaması,
- Beton plak üzerinde oluşacak ayrılmalar,

olarak açıklanabilir (Ağar. E. , Süttaş ve Öztaş. 1998).

Beton yüzeyinde oluşan bir çatlak, betonun dayanımsız, zayıf olan bölgesini oluşturur. Devamlı taşı yüklerinin etkimesi, iklim koşulları, yağış v.b nedenlerle çatlaklar her üç yönde ilerler ve yüzeyde sökümler başlar Her üç boyutta ilerleyen çatlaklar ve sökümler çukurların oluşmasına imkân tanır. (Şekil 3.1)



Şekil 3.1. Beton plakta çukur

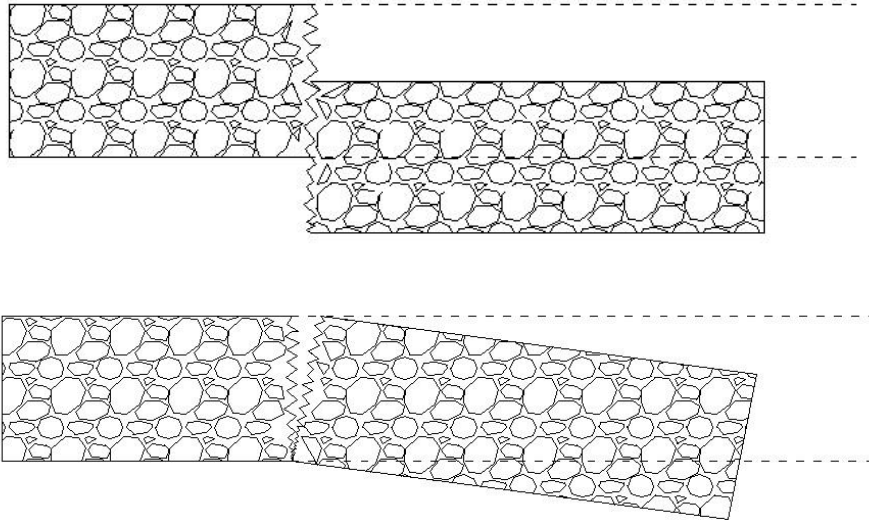
Aynı durum, homojen olmayan betonda ve iyi sıkıştırılmamış betonda, malzeme ayrışmasının yarattığı çukurlar şeklinde kendini göstermektedir. Burada esas neden, betonun yer yer veya bütünü ile boşluklu olmasından ileri gelen dirençsizliği ve malzemesinin iyi olmamasından ileri gelen zayıflığı olmaktadır (Ağar. E. , Süttaş ve Öztaş. 1998).

### 3.3.3 Plak Oturmaları

Plak oturmaları, beton plağın, komple düzey değişmesi ve göçmesi olarak açıklanır. Bu tarz bozulmaların sebebi genellikle altyapıda çıkmaktadır. Tabii zeminin ya da varsa alt tabakanın yeterince sıkıştırılmaması altyapı oturmasına

neden olur. Bu durum daha önce esnek kaplamalarda açıklandığı gibi esnek hemen bir anda gerçekleşmez. Rijit kaplamalarda bu durum, belirli bir zaman içinde beton plağın kısmen veya tümüyle oturmasına neden olur.

Bunun dışında, tabii zeminde serbest yer altı suyu bulunması veya pompaj etkisi ile de tabii zeminin zamanla yok olmasına neden olur. Bu durumun sonucu olarak beton plağı destekleyen herhangi bir yapı kalmadığı için oturma yani diğer anlamda göçme olur.



Şekil 3.2. Beton plak oturmaları

### 3.3.4 Genleşme Derzlerindeki Bozulmalar

*Derzi oluşturan her iki komşu plak arasına konmuş olan bağlantı demirleri, bu plakların birbirine kıyasla düşey yönde hareket etmesini önlemektedir. Fakat gerek trafik yükü etkisi, gerekse ısı koşulları nedeniyle plakların yatay yönde, gözle seçilemeyecek deplasmanlar yapması kaçınılmaz olup esasen bu durum, dilatasyon derzinin de yapım amacını oluşturmaktadır. Zaman içinde meydana gelen sürekli genleşme ve sıkışmalar etkisiyle derz dolgu malzemesi, istenen niteliğini kaybetmekte, ayrıca komşu plakların derze bitişik kenar ve köşeleri de zamanla aşınmakta veya kırılmaktadır. Böylece derz bölgesi, beton yolun içine ince malzemelerin girmesine yol açan ve yukarıdan aşağı ve aşağıdan yukarı su*



geçmesine izin veren, zayıf bir kesit haline gelmektedir “(Ağar. E. , Sütaş. İ. ve Öztaş. G. 1998).

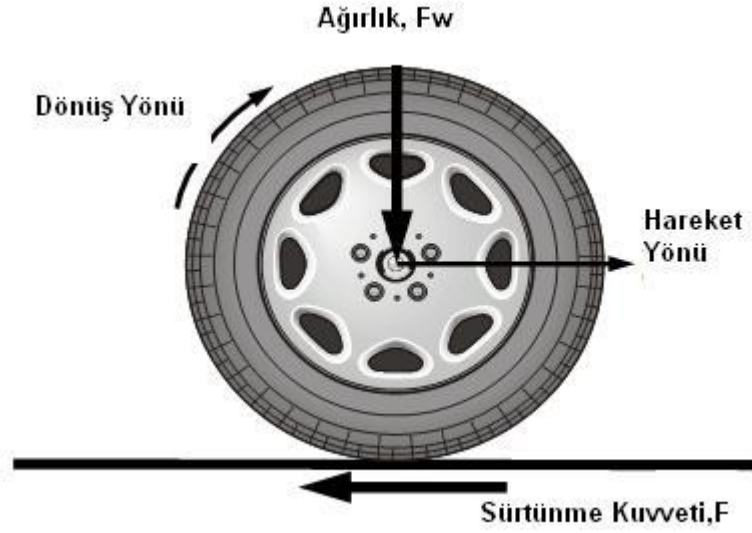
### **3.3.5 Altyapı Tesis İnşaatının Yol Açtığı Bozulmalar**

“Bir beton yol inşaatına karar verildiği zaman, o yoldaki kanalizasyon, telefon, havagazı, doğal gaz, elektrik, su şebekesi v.b gibi bütün altyapı tesislerinin döşenmiş ve bitirilmiş olması zorunludur. Beton yol, bütün bu altyapı inşaatının bitirilmesinden sonra yapılır. Aksi halde, daha sonra yapılacak herhangi bir altyapı tesis inşaatı, hem daha pahalıya mal olmakta, hem de beton yola zarar vermektedir. Bu durumda önce beton plak kırılmakta veya kesilmekte, sonra altyapı kazılmakta, tesisat döşenmekte, üzeri yeniden doldurulmakta, nihayet en üstte de yeniden beton kaplama yapılmaktadır. Ne kadar iyi çalışılırsa çalışılsın, yolun o bandı veya kesimi mutlaka zamanla çökme yapmakta ve bütün yolun zayıf bir bölümü olarak kalıp bir seri ek onarıma daha muhtaç hale gelmektedir” (Ağar. E. , Sütaş. İ. ve Öztaş. G. 1998).

## BÖLÜM DÖRT ÜSTYAPILARIN YÜZEY ÖZELLİKLERİ

### 4.1 Sürtünme Kuvveti

Sürtünme, taçıt lastiği ve kaplama yüzeyi arasındaki harekete direnen kuvvet olarak açıklanabilir. ğekil 4.1’de gösterildiği gibi harekete karşı direnç kuvveti, lastiğin hareket yönünde dönmesi veya kaplama yüzeyi üzerinde kayması ile oluşmaktadır.



ğekil 4.1 Hareketli tekerlek üzerinde etkiyen yükler

“ $\mu$ ” katsayısı, sürtünme kuvvetini simgeler ve boyutsuz bir katsayıdır. Lastik ile dik kuvvete veya düğey yüke ( $F_w$ ) yatay yolculuk yüzeyi arasındaki teğetsel sürtünme kuvveti ( $F$ ) oranıdır. Sürtünme ağırdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$\mu = \frac{F}{F_w}$$

Sürtünme kuvveti, taçıtlara düz ve yanal yönlerde kontrol imkanı tanıyarak, güvenli manevra yapabilme olanağı verir.

#### 4.1.1 Boyuna Sürtünme Kuvveti

Boyuna sürtünme kuvveti, boyuna yöndeki dönen pnömatik lastik ile -serbest yuvarlanma veya sabit frenleme durumunda- yol yüzeyi arasında meydana gelmektedir. Serbest yuvarlanma durumunda (frenleme olmadan), lastik çevresi ile kaplama arasındaki bağıl hız (kayma hızı) sıfırdır. Sabit frenleme durumunda ise, kayma hızı sıfırdan aracın potansiyel maksimum hızına kadar artar. Kayma hızı, aÇğıdaki matematiksel iliÇki le açıklanır. (Meyer, 1982).

$$S = V - V_p = V - (0,68 \times \omega \times r)$$

Burada;

S = Kayma Hızı (mi/saat)

V = Aracın Hızı (mi/saat)

VP= Lastiğın Ortalama Çevresel Hızı (mi/saat)

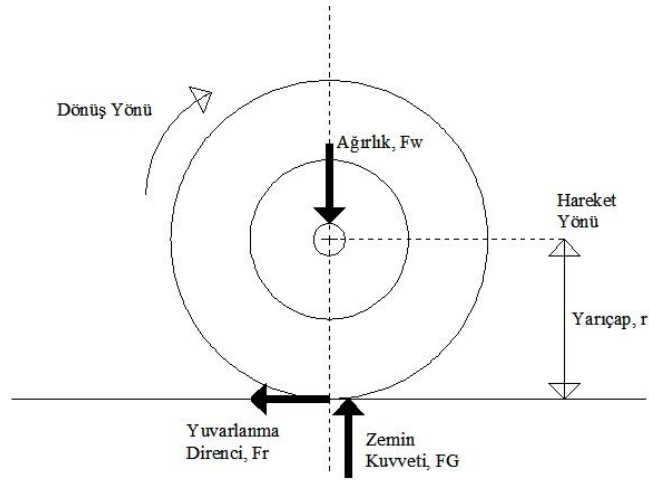
$\omega$  = Lastiğın Açısal Hızı (radyan/saniye)

r = Lastiğın Ortalama Yarıçapı (ft)

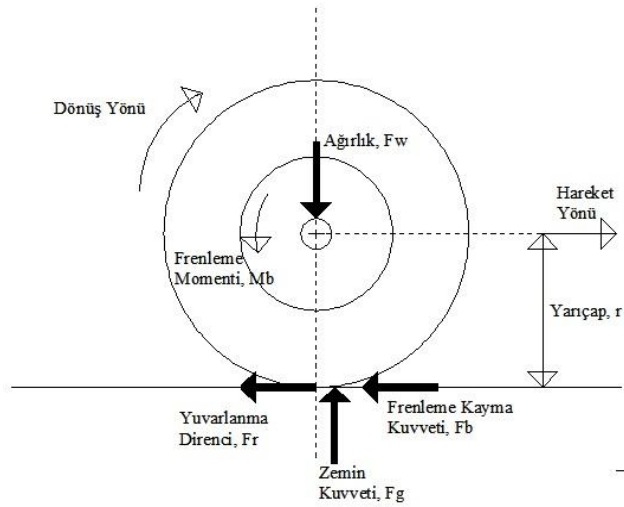
ğekil 4.2, serbest yuvarlanan lastiğe etkiyen yer kuvvetini göstermektedir. Bu durumda, yer kuvveti, lastik temas alanının basınç merkezi ile bu merkezden “a” kadar uzaklıktaki noktadadır. Bu kayma lastiğın dönebilmesi için aÇılması gereken bir momente neden olmaktadır. Bu momente karÇıgereklı kuvvete dönme direnç kuvveti (FR) denir.”a” değeri hızın bir fonksiyonudur ve hız arttıkça artmaktadır. Bu nedenle, FR değeri hız arttıkça artmaktadır.

Sabit frenleme durumunda, frenlemeden doğan ek momente (MB) karÇı,frenleme kayma kuvveti (FB) denen ek bir kuvvete ihtiyaç duyulur (ğekil 4.3). Kuvvet, frenleme seviyesi ve elde edilen kayma oranıyla orantılıdır. Toplam sürtünme kuvveti, serbest-dönme direnç kuvveti (FR) ile frenleme kayma kuvvetinin (FB) toplamıdır.

Lastik ile kaplama arasındaki sürtünme katsayısı, kayma değeriyle gçil 4.4'deki gibi değeriştir (Henry, 2000). Kaymanın en yüksek değere kadar artmasıyla sürtünme katsayısı da artmaktadır. Bu yüksek değeri sıklıkla %10 ile %20 arasındaki kayma derecesinde görülür ve buna kritik kayma denir. Bu aşamadan sonra sürtünme, %100 kayma ile oluşan ve kayma sürtünme katsayısı olarak adlandırılan değere kadar düşer. Sürtünmenin en yüksek katsayısı ve kayma katsayısı arasındaki fark, kayma değerinin %50 olduğu yere kadar eşit olabilir. Bu fark, ıslak kaplamalarda kuru kaplamalara göre daha büyüktür.

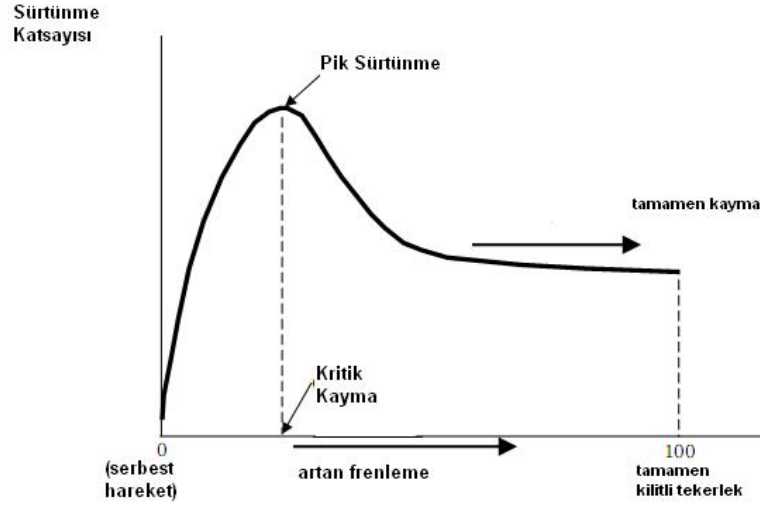


Şekil 4.2 Kuru satıh üstünde sabit hızda ve serbest hareketli tekerlek üzerinde yuvarlanma direnci (Andersen ve Wambold, 1999)



Şekil 4.3 Kuru satıh üstünde sabit frenleme esnasında tekerlek üzerinde etkiyen yükler (Andersen ve Wambold, 1999)

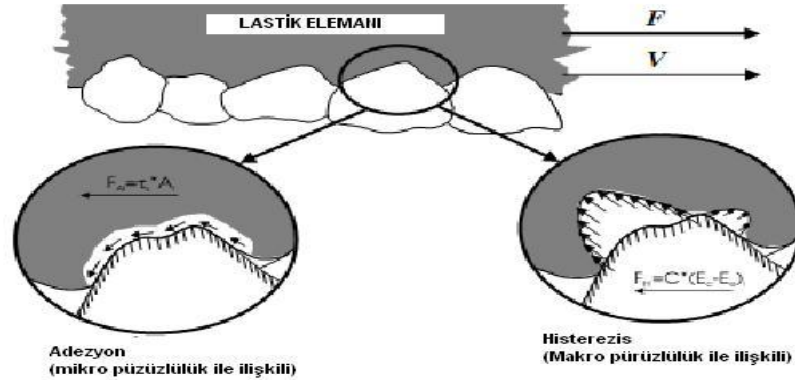
Şekil 4.4'de, kilitlenmeyen fren sisteminin (ABS) temel prensibi gösterilmektedir. ABS donanımı bulunan araçlarda frenleme yapıldığında, fren çok hızlı bir şekilde açılıp kapanır, böylelikle kayma en yüksek değere yaklaşır. Bu değer en yükseğe ulaştıktan hemen önce frenler açılarak aracın kontrolü sağlanır. Frenler belli bir zaman veya en yüksek kayma yüzdesinin altına düştüğünde tekrar kapanır.



Şekil 4.4 Sürtünme-tekerlek kayma ilişkisi

## 4.2 Sürtünme Mekanizmaları

Kaplama sürtünmesi, adezyon ve histerezis adı verilen iki temel sürtünme kuvveti bileşeni arasındaki etkileşimin karmaşık bir sonucudur (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Kaplama yüzeyi-tekerlek sürtünme mekanizması

Adezyon, lastik ile kaplama yüzeyi arasında küçük ölçekli bağ oluşturan bir sürtünmedir. Adezyon, kayma direnimi ile lastik temas alanının bir fonksiyonudur. Histerezis, araç lastiklerindeki büyük çaplı deformasyondan kaynaklanan enerji kaybı sebebi ile ortaya çıkar. Deformasyon genellikle lastiğin dokunun etrafını sarmasına denir. Lastik, kaplama yüzeyine basınç uyguladığında, gerilim dağılımı kauçuk içinde depolanan deformasyon enerjisine neden olur. Lastiğin serbest bırakılıp gevşemesiyle depolanan enerjinin bir kısmı geri kazanılırken, diğer kısmı ısı olarak kaybedilir (Histerezis). Bu kayıp, net sürtünme kuvveti olarak aracın durmasına yardımcı olur.

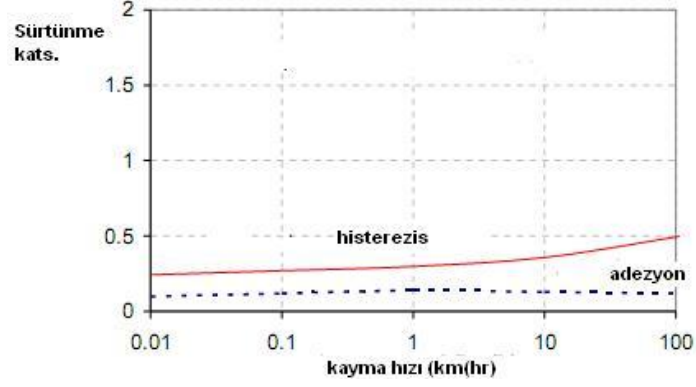
Kaplama sürtünmesinin başka bileşenleri de olmasına rağmen, adezyon ve histerezis ile karşılaşıldığında önemsizdirler. Bu sebeple sürtünme, adezyon ve histerezisin toplamı olarak görülebilir.

Tüm bu bileşenler büyük oranda kaplama yüzeyinin karakteristiğine, kaplama ile lastiğin temasına ve lastiğin özelliklerine bağlıdır. Ayrıca, lastik vizko – elastik bir malzeme olduğundan, ısı ve kayma hızı da bu iki bileşeni etkiler.

Adezyon kuvveti kaplama – lastik ara yüzünde olduğundan, kaplamadaki agregaların yüzey dokusu ile doğrudan ilişkilidir. Mikro doku agrega danesinin mineorolojik yapısına bağlıdır. Aksine histerezis kuvveti lastik içinde olduğundan, tasarım yöntemi ve/veya yapım teknikleriyle şekillenmiş yüzeyin makro pürüzlülüğüyle (makrodoku) ilişkilidir. Sonuç olarak, histerezis ıslak ve sert yapılı kaplamalarda önemli bileşen olurken, adezyon cilalanmış ve kuru kaplamalardaki önemli sürtünmedir.

Şekil 4.6’da cilalanmış ancak makro pürüzlülüğünü henüz kaybetmemiş yolda kayma hızının, sürtünmenin iki bileşeni üzerindeki etkisi grafiksel olarak gösterilmektedir. Kayma hızı, yol yüzeyine temas eden lastik kısmı ile yol yüzeyi arasındaki hız farkıdır. Örneğin, frenleme sırasında bir aracın tekerlekleri 40 km/saatlik teğetsel hızla yavaşlarken, araç 60 km/saat hızla gidebilir. Bu durumda

lastiğin yol yüzeyine bağlı kayma hızı 20 km/saattir. Tekerlerin kilitlendiği anda (dönmenin durduğu an) kayma hızı aracın hızına eşit olur.



Şekil 4.6 Kayma hızının sürtünme bölümleri üzerine etkisi (Rado ve diğer., 2006)

Sürtünme kuvvetini etkileyen faktörler dört gruba ayrılır;

- Kaplama yüzey özellikleri,
- Araç içine özellikleri,
- Lastik özellikleri,
- Çevresel etkenler.

Tüm grupları kapsayan farklı etkenler Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

### 4.3 Yolların Yüzey Özellikleri

Yolların yüzey özelliklerinden;

- Mikrodoku, karışındaki agregaların yüzeyine bağlıdır.
- Makrodoku, agreganın dane boyutuna bağlı bir parametredir.
- Megadoku, yol yapım aşamasında finişem vibrasyonu sonucunda veya yol yüzeyinin zamanla bozulması sonucu oluşan çatlaklar, tekerlek izi vb. nedenlerle ortaya çıkar.

Yol yüzey özellikleri, sapmaların dalga boyuna ( $\lambda$ ) bağlı olarak, yol yüzey dokusu ve geometrik düzgünlüğü olmak üzere iki ana kısma ayrılmıştır. Bu tanımlama aşağıdaki gibidir belirtilebilir;

Tablo 4.1 Kaplama sürtünme kuvvetini etkileyen faktörler (Wallman ve Astrom, 2001)

Kaplama Yüzey Özellikleri	Araç İşletme Özellikleri	Lastik Özellikleri	Çevre
Mikro pürüzlülük	Kayma hızı	Değme alanı	İklim
Makro pürüzlülük	-Araç hızı -Frenleme iÇi	Yük, sıcaklık	Rüzgâr
Malzeme özellikleri		Basınç	Sıcaklık
Sıcaklık	Sürücü manevrası	Lastik kompozisyonu, sertliği	Tuz gibi kayma engelleyiciler
		Sertlik Durumu	Satıh durumu

### **Yol Yüzey Dokusu :**

Mikrodoku  $\lambda < 0,5\text{mm}$ .

Makrodoku  $0,5 \text{ mm} < \lambda < 50 \text{ mm}$ .

Megadoku  $50\text{mm} < \lambda < 500 \text{ mm}$ .

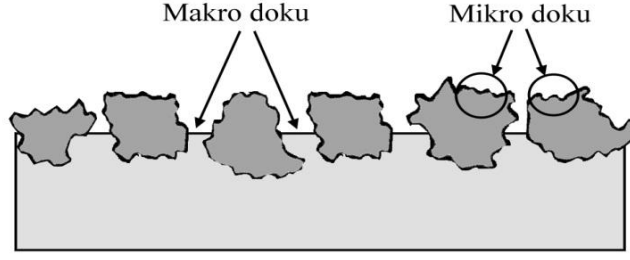
### **Geometrik Düzgünlük :**

Boyuna Geometrik Düzgünlük  $0,5 \text{ m} < \lambda < 50 \text{ m}$ .

Enine Geometrik Düzgünlük  $0,5 \text{ m} < \lambda < 50 \text{ m}$ .

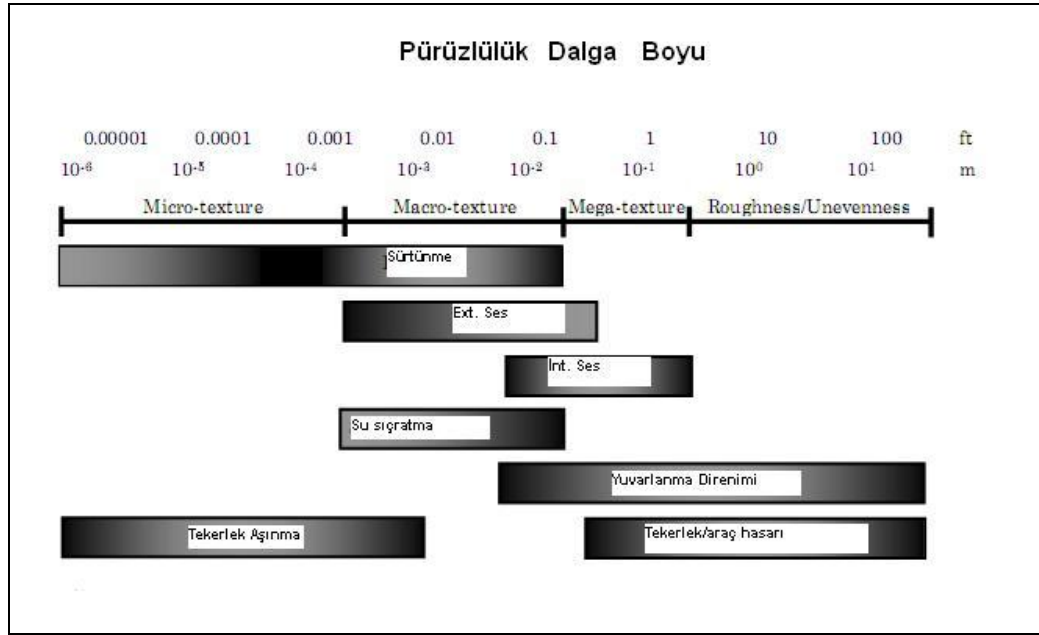
Mikro doku, agrega parçalarının herbirinin pürüzlülük derecesiyle açıklanırken, makro doku, agrega parçaları arasındaki sapmanın derecesiyle açıklanır. Mikro doku düşük hızlardaki sürtünme ile ilgiliyken, makro doku, ağırlıklı olarak lastik ve kaplama yüzeyi ayrılma potansiyelini azaltmakla sorumludur (Şekil 4.7).





Şekil 4.7 Mikro ve Makro pürüzlülük (Flintsch ve diğer, 2003)

Kaplama yüzey dokusu birçok farklı kaplama – lastik ilişkilerinden etkilenmektedir. Şekil 4.8’de çeşitli araç – yol etkileşimlerinden etkilenen doku dalga boylarının aralıkları gösterilmiştir. Bu aralık tanımlamaları sürtünme, iç ve dış gürültü, sıçrama ve püskürme, dönme direnci ve lastik aşınmasını içermektedir.

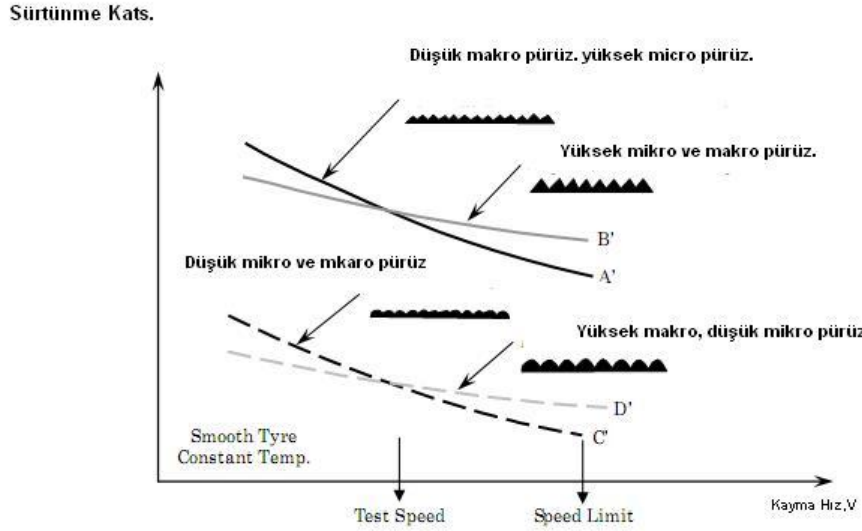


Şekil 4.8 Pürüzlülük dalga boyunun kaplama tekerlek etkileşimi üzerinde etkileri (Henry,2000 ve Sandburg ve Ejsmont, 2002).

Şekil 4.9’da mikro, makro dokular ve sürtünme hızının bağlı etkileşimi görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, makro doku sürtünme – hız eğimini etkilerken, mikro doku, lastik sürtünmesinin büyüklüğünü etkilemektedir. Düşük hızlarda (30Km/saat), mikro doku ıslak sürtünme düzeyinin belirlenmesinde başta

gelir. Yüksek hızlarda (30 km/saat ten büyük hızlarda), makro dokunun yüksek oluşu suyun drenajını sağlayarak sürtünmedeki adezyon bileşimini yeniden oluşturur. Histerezis, hızın artmasıyla katlanarak artar ve 105 km/sa'ın üzerindeki hızlarda sürtünmenin %95'in üzerinde olduğu kabul edilir.

Hogervost araç hızı ile birlikte sürtünme direnç değişiminin mikro ve makro dokuya bağlı olduğunu belirtmiştir (Hogervost, 1974). Özellikle makro dokunun yüksek hızlarda önem kazandığını, düşük hızlarda yok denecek kadar az önem sahip vurgulamıştır.



Şekil 4.9 Farklı kayma hızlarına kaplama tekerlek etkileşimi üzerinde mikro ve makro pürüzlülük (Flintsch ve dig, 2002)

Agrega, binder ve yüzey malzemesinin karışım özellikleri ve serimden sonraki malzemenin doku özellikleriyle ilgili kaplama yüzey dokusunu etkileyen faktörler aşağıda liste halinde verilmiştir:

- En Büyük Agregaya Boyutu: Asfalt betonundaki en büyük agregaları boyutları makro dokunun dalga boylarını belirler. Bunun için birbirine yakın ve düzgün yerleşim olmalıdır.

- Kaba Agrega Cinsi: Kaba agrega çeğidinin seçimi tağmalzemenin köğeliğİ, ęekli ve dayanıklılığının kontrolü ile yapılır. Asfalt betonu için oldukça önemlidir.
- İnce Agrega Cinsi: Seçilen ince agreganın köğeliğİ ve dayanıklılığİ, malzeme seçimi ve kırmatağ oluşu ile kontrol edilebilir.
- Bağlayıcı Viskozitesi ve Çeriğİ: Düşükviskoziteli bağlayıcılar sert olanlara göre daha kolay kuma eğilimindedirler. Ayrıca ağırı bağlayıcı kullanımı (tüm bağlayıcı çeğileri için) kumaya neden olmaktadır. Kuma, kapla yüzeyindeki mikro ve makro dokunun azalmasına veya kaybına yol açar. Bağlayıcı agregaları bir arada ve olmaları gereken yerde tuttuğundan, akmaya karğı oldukça dirençli olması gerekmektedir.
- Karığım Gradasyonu: Karığım gradasyonu, kaplamanın stabilitesini ve hava boğluğunu doğrudan etkiler.
- Karığımın Hava Boğluğu: Hava boğluğunun artması kaplamadaki suyun daha kolay drene edilebilmesini sağlar. Ayrıca araç altındaki havayı da drene ederek gürültüyü azaltır.
- Tabaka Kalınlığı: Poroz asfalt kaplamalarda tabaka kalınlığının artması daha yüksek hacimli suyun tahliyesini sağlamaktadır. Diğer bir taraftan, tabaka kalınlığının artığyüksek ses eminlim frekansını düşürmektedir.
- İzotropi veya Anizotropi: Tüm yönlerdeki yüzey dokusunun tutarlılığı (izotropi) uzun dalga boylarını düşürerek gürültüyü azaltır.
- Doku Çarpıklığı: Negative çarpıklık profildeki derin çukurlardan meydana gelirken, pozitif çarpıklık makro doku profilindeki tepelerden kaynaklanmaktadır.

Tablo 4.2’de bu faktörlerin mikro ve makro dokuyu nasıl etkiledikleri özetlenmiştir.

#### **4.3.1 Megadoku (Megapürüzlülük)**

Megadoku, yolun geometrik düzgünlüğü ile makrodokusu arasında geçiş bölgesi oluşturur. Bu aralık, büyüklük olarak tekerlek bandajının yol yüzeyine değme alanı

değerindedir. Diğer pürüzlülüklerin sakıncalı tarafları yanında faydaları da olduğu halde megadokunun yalnızca sakıncaları mevcuttur (Ağar. E. , SüttaÇ.Ç ve ÖztaÇ. G. 1998).

#### **4.3.2 Makrodoku (Makropürüzlülük)**

Makrodoku, kaplamanın ortalama geometrik pürüzlülüğünü, dolayısı ile su drenajı kapasitesini belirtir. Makropürüzlülük, agregaların boyutuna bağlıdır ve bu boyut büyüdükçe makropürüzlülük artar (Ağar. E. , SüttaÇ.Ç ve ÖztaÇ. G 1998).

Bütün hızlarda, taÇıtara yeterli bir kayma direnci sağlamak için kaplamanın hem pürüzlü (makrodoku) hem de diÇıl (mikrodoku) olması gerekir. Yüksek hızlarda, mikrodoku, güvenliği sağlamak için yeterli olmaz. Bu nedenle gürültü ve yakıt tüketimini artırmasına rağmen trafikteki hızlara uygun yeterli bir makrodoku oluğturmak gerekir.

#### **4.3.3 Mikrodoku (Mikropürüzlülük)**

Mikrodokuda mineral agrega kristallerinin boyutu söz konusudur. Bu sınır gözle görülebilen en küçük ayrıntılara tekabül eder. Mikrodoku, kaplama agregası ile tekerlek lastiğinin temasının kalitesini etkiler. Makropürüzlülük ise bu teması garantiler (Ağar. E. , SüttaÇ.Ç ve ÖztaÇ. G 1998). Mikropürüzlülük, yol kaplaması ile tekerlek lastiği arasındaki su filminin parçalanmasını ve lastikle yol arasında kuru temas olmasını sağlar. Mikrodoku, trafik altında cilalanmayan kenarlı agregaların kaplamaya kazandırdığı özelliktir.

### **4.4 Yüzey Pürüzlendirme Teknikleri**

TaÇıların yolda kaymalarını önlemek, tekerlek lastiğinin de yol yüzeyi ile iyi temasını sağlamak için, her türlü yol kaplaması için olduğu gibi beton yolun yüzeyinin de belirli bir pürüzlülüğe sahip olması gerekir. Bu nedenle yolun yapımı sırasında, yapım sonrasında ve yol trafiğe açılıp belirli bir süre kullanıldıktan sonra

onarım amacı ile çeşitli yöntemlerle pürüzlendirme işlemleri uygulanmakta ve böylece yol yüzeyinin yuvarlanma sürtünme katsayısı artırılmaksızın kayma sürtünme katsayısının yükseltilmesi amaçlanmaktadır.

Tablo 4.2 Mikro ve makro pürüzlülük üzerinde etkili parametreler (Sandburg, 2002; Henry, 2000, AASHTO 1976)

Kaplama Türü	Faktör	Mikro Pürüzlülük	Makro Pürüzlülük
Asfalt	En büyük agrega boyutu		X
	Kaba agrega tipi	X	X
	İnce agrega tipi		X
	Karışım gradasyonu		X
	Hava boşluk		X
	Bağlayıcı tipi		X
Beton	Kaba agrega tipi	X	X
	İnce agrega tipi	X	
	Karışım gradasyonu		X
	Agrega dağılımı		X

#### 4.4.1 Rijit Kaplamalarda Pürüzlendirme Yöntemleri

Beton yol yüzeyleri hem plastik kıvamda iken ve hem de sertleştikten sonraki herhangi bir zamanda pürüzlendirilebilmektedir. İlk inşaat aşamasında yolun taşıyacağı trafik cinsi ve yoğunluğuna göre çeşitli şekillerde yüzeye bir pürüzlülük kazandırılmaktadır. Daha sonraları yolun yapısal hasarlı olmayıp sadece aşınma etkisiyle pürüzlülüğünün azaldığı durumlarda yine değişik tekniklerle sertleşmiş beton yüzeyine istenen pürüzlülük kazandırılabilir.

##### 4.4.1.1 Taze Beton Yüzeyini Pürüzlendirme

4.4.1.1.1 Çuval Bezi, Süpürge, Suni Çim Halı veya Fırça Çekme. Rijit üstyapı inşaatı sırasında betonun yerleştirilip yüzeyi düzeltildikten sonra yüzeydeki suyun buharlaşmasını engelleyen kür kimyasalı püskürtülmeden önce yüzeye, yolun

karşılaştığı çatılara uygun olarak belirlenen pürüzlendirme derecesine göre boyuna, enine ya da hem enine hem de boyuna doğrultuda pürüzlendirme işlemi uygulanır.

Bu pürüzlendirme uygulamaları,

- Kaba yapılı çuval bezi,
- Saplı süpürge,
- Suni çim halısı,
- Günümüzde daha sıklıkla uygulanan bir yöntem olan fırça

yardımı ile yapılabilir (Karpuz, O. 2008).

Rijit kaplamalar, yüzeylerinin düzgün olmasından ve güvenli bir sürüş sağlaması açısından avantajlıdır. Ancak çoğunlukla yüksek hızlar ve yağmurlu havalarda için yeterli makropürüzlülük sağlamazlar. Bu makropürüzlülüğü sağlaması açısından yukarıda bahsedilen tekniklerden biri uygulandıktan sonra ilave olarak yüzeye tinning denilen ince kanallar açılır.

*4.4.1.1.2 Yüzeyde İnce Kanallar Açma.* Beton yol üzerinde trafiğin 80 km/saat ve üzeri hızda ilerlemesi ve yağmurlu hava koşulları olması durumunda, taşıtın tekerleği ile yol yüzeyi arasındaki aderansı artırmak ve bu olumsuz şartlar altında olası bir frenleme durumunda oluşabilecek kızıllama tehlikesini azaltmak için kaplama yüzeyi üzerinde bulunan suyun mümkün olduğunca hızlı bir şekilde ortamdan uzaklaştırılmasının sağlanması gereklidir. Bunu sağlamak için taze beton yüzeyinde bir önceki bölümde değinilen tekniklerden biri kullanıldıktan sonra tarağa benzeyen aletler yardımı ile farklı ya da eşit aralıklarda (genellikle 14 ile 40 mm arasında ) 2 ile 3 mm arasında değişen derinlikte ince kanallar açılmaktadır (Karpuz, O. 2008). Bu ince kanallar, boyuna veya enine doğrultuda uygulanabilir. Bu doğrultu yönleri, kaplama üzerinde oluşabilecek trafik hacmine ve iklim şartlarına göre seçilir.

Edinilen tecrübeler ışığında,

- Sessiz ve daha güvenli sürüşler için → Boyuna doğrultuda
- Fazla hız ve yağışlı hava koşulları altında kızaklama tehlikesi olan yerlerde ve genellikle havaalanı pistlerinde → Enine doğrultuda

İnce kanallar açılması uygundur. Ayrıca bu ince kanal açma uygulamaları için Çi tavsiyeler mevcuttur.

- Kurbalar için, oluşabilecek yanal kaymaya karşı boyuna doğrultuda ince kanallar açılması daha uygun olacaktır.
- Hafif trafik yüküne (genellikle otomobil ya da motosiklet) maruz kalan yollarda boyuna doğrultuda veya çapraz doğrultuda ince kanalların açılması daha uygundur (Karpuz, O. 2008).

*4.4.1.1.3 Yüzeydeki Agregaları Açığa Çıkarma.* Taze beton yüzeyi düzeltildikten sonra yüzeyin hemen altında bulunan agregaların arasında kalan çimento hamurunun uzaklaştırılması amaçlanır. Bunun için iki teknik kullanılır. Birincisi beton plastik kıvamda iken yüzeyin çimento hamuru, su ve dönen fırça yardımıyla uzaklaştırılır. İkincisi ise yerleşirmeden hemen sonra yüzeye hidratasyonu geciktirici kimyasal püskürtülür. 24 saat sonra yüzeydeki gevsek hamur bir fırça yardımıyla uzaklaştırılır. Sonuçta yüzeyde sadece agrega danelerinin kırık yüzeylerinden oluşan bir yapı ortaya çıkar.

*4.4.1.1.4 Yüzeye Mıcır Döküp Sıkıştırma.* İlk olarak Belçika'da uygulanmış bir yöntemdir. Bu yöntem, yeni dökülmüş taze beton yüzeyine mıcır dökülüp tamamen batmayacak şekilde gömülmesi esasına dayanır. 14 ile 20 mm arası boyutlarda, aşınmaya karşı dirençli mıcırlar kullanılır (Karpuz, O. 2008).

Bu yöntem sonucunda daha fazla değerinde makro pürüzlülük ve daha yüksek sürtünme elde edilir. Bu yöntemin tek dezavantajlı durumu sürüş esnasında daha fazla gürültü çıkarmasıdır.

*4.4.1.1.5 Geçirimli (Poroz) Karışım Kullanma.* Geçirimli (poroz) karışımların en karakteristik özelliği, boşluk oranının %20 yada daha fazla değerdedir. Geçirimli beton karışımlar kullanıldığında yüzeye gelen yağış suları betonun boşluklu yapısı içinden kolayca drene olmaktadır. Ancak bu tür kaplamaların donma çözünme etkisine karşı dayanımı düşüktür.

Bu durumda karışıma daha fazla miktarda çimento eklenmesi veya polimer malzeme eklenmesi çözüm olacaktır. Bu tarz karışımların kullanım alanları ılıman iklimlerle sınırlıdır (Karpuz, O. 2008).

#### *4.4.1.2 Sert Beton Yüzeyi Pürüzlendirme*

1950'lerde Kaliforniyalı yol mühendislerinin geliştirdikleri makine ile yaptıkları bir uygulamadır. Mevcut beton yol yüzeylerinin 1-3 mm'lik üst kısmı kaldırılarak gürültüsü azaltılır ve yüzey sürtünmesi yenilenmiş bir yol meydana getirilir. Kullanılan tekniğe göre isimlendirilir. (Karpuz, O. 2008)

*4.4.1.2.1 Öğütme.* Dönen uzunca bir tambur üzerine çok sayıda ve düzensiz aralıklarla yerleştirilmiş elmas uçların yüzeyi kaldırması şeklinde uygulanır. Kaplamanın özellikle mikro dokusunu ve makrodokunun bir kısmını iyileştirir. Sürtünme katsayısını artırırken gürültüyü azaltır. Etkili bir tekniktir (Karpuz, O. 2008).

*4.4.1.2.2 Yiv Açma.* Yiv açma yönteminde elmas uçların 19 mm arayla yerleştirildiği dönen tambur kullanılır. Boyuna doğrultuda uygulandığında hem sürtünme katsayısı yüksek ve hem de daha sessiz düzgün bir yüzey oluşturulur. Kavaklarda enine doğrultuda da yapılabilir. Özellikle hava alanlarında, köprülerde ve kaza riski yüksek olan yol kesimleri için tavsiye edilmektedir (Karpuz, O. 2008).

*4.4.1.2.3 Kum Çarptırma.* Kum ebadındaki sert parçacıklar yüzeye hızla çarptırılarak yüzeyden ince bir tabaka (0-6 mm) uzaklaştırılır. Çimento hamuru ve



agrega danelerinin yüzelelerinde çok iyi bir mikrodoku oluşturulur (Karpuz, O. 2008).

## BÖLÜM BEŞ

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 5.1 Esnek Kaplamalar

##### 5.1.1 Esnek Kaplamalarda Kullanılan Malzemeler Ve Özellikleri

###### 5.1.1.1 Agregalar

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan kalker ve bazalt, Dere Madencilik A.Ş. Çimri ocağından temin edilmiştir. Agregaların özellikleri ise çizelgelerdeki gibidir.

Tablo 5.1 Kaba agreganın özgül ağırlıkları ve su absorpsiyonu

KABA AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIKLARI VE SU ABSORPSİYONU		
A	Kuru malzemenin havadaki ağırlığı, gr.	1505
B	Doygun-yüzey-Kuru malzemenin havadaki ağırlığı, gr.	1522
C	Doygun-yüzey-Kuru malzemenin sudaki ağırlığı, gr.	917
A/(A-C)	Zahiri özgül ağırlık	2,56
A/(B-C)	Hacim özgül ağırlık, G <sub>k</sub>	2,488
(B-A)/A*100	Absorpsiyon yüzdesi	1,13

Tablo 5.2 İnce agreganın özgül ağırlıkları ve su absorpsiyonu

İNCE AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIKLARI VE SU ABSORPSİYONU		
A	Piknometre ağırlığı, gr.	176,9
B	Piknometre + su ağırlığı, gr.	821,8
C	Piknometre + Doymun-yüzey-kuru numune ağırlığı, gr.	676,9
D	Piknometre + numune + su ağırlığı, gr.	1121
E	Kuru numune ağırlığı	496,2
E/B+E-D	Zahiri özgül ağırlık	2,519
E/B+C-A-D	Hacim özgül ağırlık, G <sub>i</sub>	2,471
C-A-E/E	Absorpsiyon yüzdesi	0,766

Tablo 5.3 Mineral fillerin zahiri özgül ağırlığı

MINERAL FİLLERİN ZAHİRİ ÖZGÜL AĞIRLIĞI		
A	Piknometre ağırlığı, gr.	114,8
B	Piknometre + su ağırlığı, gr.	365
C	Piknometre + kuru numune ağırlığı, gr.	214,8
D	Piknometre + numune + su ağırlığı, gr.	425,4
C-A/(B-A)-(D-C)	Zahiri özgül ağırlık, G <sub>f</sub>	2,525

Tablo 5.4 Agreganın Los Angeles deneyi ile aşınma kaybı

AGREGANIN LOS ANGELES DENEYİĞİNE AŞINMA KAYBI		
A	Çıkartma ağırlık, gr.	5000
B	Son ağırlık, gr.	4050
C	Aşınma kaybı yüzdesi, %	19,0

Tablo 5.5 Agreganın ve karışımın özellikleri

	Kaba agregası	İnce agregası	Filler	Şartname	Deney Standardı
Hacim Özgül Ağırlığı	2,488	2,471	-	Su absorpsiyonu	TS EN 1097-6
Zahiri Özgül Ağırlığı	2,560	2,519	2,525	Kaba agregası için	
Su Absorpsiyonu %	1,130	0,766	-	En fazla 2,0	
			Deney sonucu	Şartname	Deney standardı
Los Angeles aşınma kaybı, %			19	En fazla 25	AASHTO T-96
Cilalanma değeri, %			-	En az 50	TS EN 1097-8
Yassılık indeksi, %			11,2	En fazla 25	BS 812

### 5.1.1.2 Bitüm

Deneyisel çalışmada kullanılan bitüm, Türkiye Petrol Rafineleri A.Ş. Çömür rafinerisinden temin edilmiştir. Bitümlerin özellikleri ise çizelgelerdeki gibidir.



Şekil 5.1 Bitümün genel görünümü

Tablo 5.6 Bitümün özellikleri

Özellik	Birim	Referans Sınır Değerleri		Ölçüm Değeri	Deney Yöntemi
		En Az	En Çok		
<b>Penetrasyon (25C, 100g, 5sn)</b>	x 0,1mm	50	70	59	TS EN 1426
<b>Yumuşama Noktası</b>	C	46	54	49	TS EN 1427
<b>Parlama Noktası</b>	C	230		358	TS EN ISO 2592
<b>Çözünürlük</b>	% (m/m)	99		99,9	TS EN 12592
<b>Sertleşmeye Karşı Direnç 163C'ta</b>				-	TS EN 12607-1
<b>Kütle Değişimi (Isıtmadaki kayıp)</b>	%		0,5	0,2	TS EN 12607-1
<b>Kalıcı Penetrasyon</b>	%	50		68	TS EN 1426
<b>Sertleştirmeden Sonra Yum. Nok.</b>	C	48		52	TS EN 12607-1
<b>Yumuşama Noktasında Artış</b>	C		9	3	TS EN 12607-1

## 5.1.2 Ekipmanlar

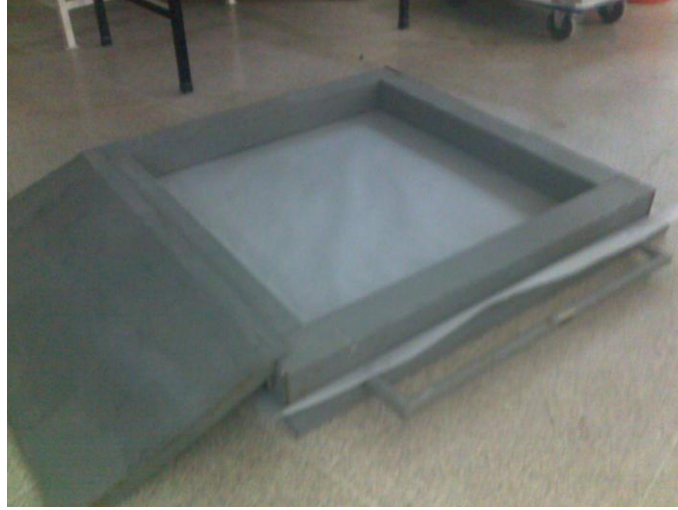
### 5.1.2.1 Kalıp

Yoğun gradasyonlu asfalt ve poroz asfalt numunelerini hazırlamak için 50 cm x 50 cm x 10 cm derinlikli metal kalıp hazırlanmıştır. Dinamik sürtünme ölçer (DFT) test aletinin boyutları dikkate alınarak bu ölçüler seçilmiştir. Dökme ve serme işlemi tamamlandıktan sonra sıkıştırma işlemi için gerekli olan el silindirinin kalıp üzerine rahat bir biçimde çıkabilmesi için kalıp önüne ilave olarak metal bir rampa yapılmıştır.

### 5.1.2.2 Etiv

Yine aynı şekilde, yoğun gradasyonlu asfalt ve poroz asfalt üretimlerini yaparken Çatnamelerde geçerli olan karıştırma, serme ve sıkıştırma sıcaklıklarına ulaşabilmek

için Dokuz Eylül Üniversitesi Çeşitli Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı laboratuvarında bulunan etüvlerden faydalanılmıştır.



Şekil 5.2 Esnek kaplama numunelerin dökümü için metal kalıp



Şekil 5.3 Esnek kaplama tasarımında kullanılan etüvler

### 5.1.2.3 Mikser

Yoğun gradasyonlu asfalt ve poroz asfalt üretiminde gerekli sıcaklık değerinde gerekli karışımın sağlanması için yine Dokuz Eylül Üniversitesi Çeşitli Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı laboratuvarında bulunan mikser kullanılmıştır. Mikserin hacmi gereği her biri 40 kg. olan numuneler 3'er kg.lık agregalara daha önceden belirlenmiş olan optimum bitüm yüzdesine göre gerekli miktarda bitüm

eklenerek ayrı ayrı karışım işemi yapılmıştır ve bir bütün halinde serme sıkıştırma işemine geçilmiştir.



şekil 5.4 Karışımda kullanılan mikser

#### 5.1.2.4 El Silindiri

Bitüm bağlayıcı malzemenin karışım işemi bitirildikten sonra, serme ve sıkıştırma işemine geçilmiştir. Serme ve sıkıştırma işemleri gerekli olan sıcaklık değerlerine gelen malzemeler önce kalıp içine serilip, el silindiri yardımı ile sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işemi sırasında karışımın silindire yapışmasını önlemek için silindir yağlanmıştır.



şekil 5.5 Sıkıştırma işeminde kullanılan el silindiri

### 5.1.3 Esnek Kaplamaların Üretiminde Uygulanan Deneyler

#### 5.1.3.1 Taş Mastik Asfalt

Taş mastik asfalt numunesi, Urla – Zeytin alanı mevkiinde serme ve sıkıştırma işlemi yapılan yol inşaatında temin edilmiştir. Ege Asfalt Maden Çıkarım Nakliye San. ve Tic. A.Ş.'den alınan verilere göre taş mastik asfaltın özellikleri şu şekildedir.



Şekil 5.6 Taş mastik asfalt numunesinin sıkıştırma aşamasından sonra alınması.

Taş mastik asfaltın üretiminde kullanılan agrega gradasyonu şu şekildedir.

Tablo 5.7 Taş mastik asfalt üretiminde kullanılan agrega gradasyonu.

TMA TÇP-1						TOPLAM	K.T.ğ. KISIM 408			
KULLANIM ORANLARI		68	19	4	9	<b>100</b>				
ELEK AÇIKLIĞI		(7-19.1)mm Bazalt	(0-7)mm Bazalt	(0-2)mm Bazalt	Taş tozu Kalker	KARIŞIM	TMA TÇP-1			
mm.	inch.	% geçen	% geçen	% geçen	% geçen	GRAD.	ğartname		Tolerans	
19,1	3/4"	100	100	100	100	<b>100</b>	100	100	100	100
12,7	1/2"	94,6	100	100	100	<b>96,3</b>	90	100	92,3	100
9,52	3/8"	46,6	100	100	100	<b>63,7</b>	50	75	59,7	67,7
4,76	No.4	0,5	93,8	100	100	<b>31,2</b>	25	40	28,2	34,2
2,00	No.10	0,2	63,5	100	100	<b>25,2</b>	20	30	22,2	28,2
0,42	No.40	0,1	24,3	83,8	100	<b>17,0</b>	12	22	14,0	20,0
0,177	No.80	0,1	14,4	45,0	96,1	<b>13,3</b>	9	17	10,3	16,3
0,075	No.200	0,1	8,6	20,6	76,3	<b>9,4</b>	8	14	8	11,4

Tablo 5.8 TaÇ mastik asfaltın efektif özgül ağırlık deneyi

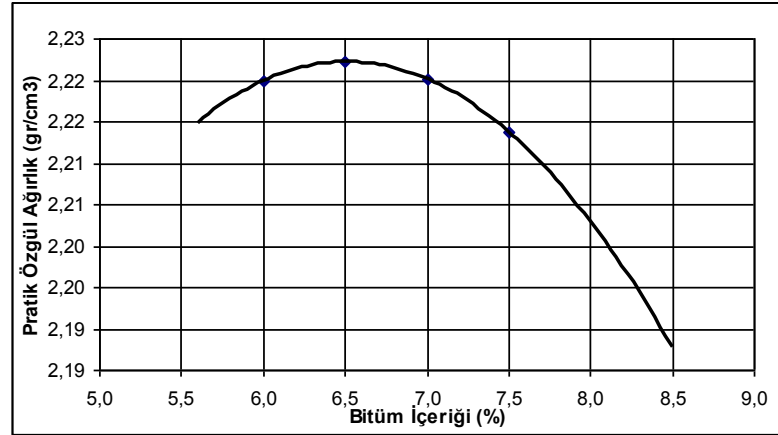
EFEKTİF ÖZGÜL AĞIRLIK DENEYİ		
A	Piknometre ağırlığı, gr.	550,0
B	Piknometre + su ağırlığı, gr.	2820,0
C	Piknometre + sıkıÇnamıÇ Bt. Malz. Ağırlığı, gr.	1732,0
D	Piknometre + su + sıkıÇmamÇ Bt. Malz. Ağırlığı, gr.	3490,0
Dt	Maksimum teorik özgül ağırlık	2,309
Wa	Yüzde bitüm miktarı	6,5
Gb	Bitüm özgül ağırlığı	1,038
Gef	Efektif özgül ağırlık	2,508

Yapılan Marshall stabilite deneyi sonucunda optimum bitüm yüzdesi %6,70 olarak bulunmuÇtur. Marshall stabilite deney sonuçları ise Çu Çkildedir.

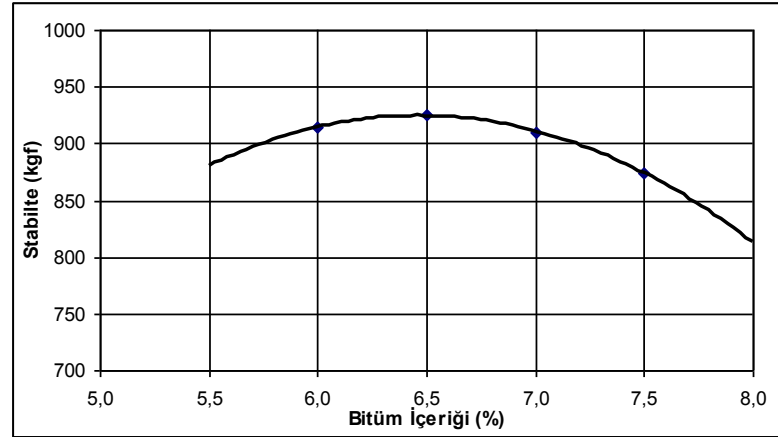


Tablo 5.9 TaÇ nastik asfaltın Marshall stabilite deneyi sonuçları.

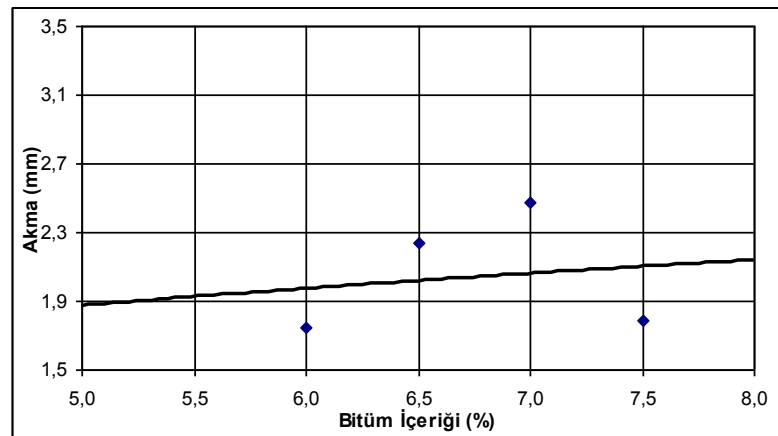
Numune No.	BITÜM YÜZDESİ		BRIKET YÜKSEKLİĞİ				Havadaki Ağ. (gr.)	Sudaki Ağ. (gr.)	DYKA (SSD, gr.)	Hacim	Hacim Özg. Ağ.	Maks. Teo. Özg. Ağ.	Boşluk (%)	VMA	VFA	AKMA	STABİLİTE	Düz. Fakt.	Düz. Stab.
	Wa	Wb	1	2	3	ORT.	A	C	B	V	Dp	Dt	Vh	(%)	%	mm	kgf		kgf
1	6,0	5,66	64,50	64,50	64,50	<b>64,5</b>	1193,7	660,0	1197,0	537,0	2,223	2,322	4,263	16,38	74,0	2,43	936	0,975	913
2	6,0	5,66	64,40	64,40	64,40	<b>64,4</b>	1203,0	665,4	1208,6	543,2	2,215	2,322	4,618	16,99	72,8	1,73	940	0,978	919
3	6,0	5,66	64,40	64,40	64,40	<b>64,4</b>	1201,0	664,7	1205,2	540,5	2,222	2,322	4,301	16,72	74,3	1,07	931	0,978	911
<b>ORT</b>											<b>2,220</b>		<b>4,394</b>	<b>16,70</b>	<b>73,7</b>	<b>1,74</b>			<b>914</b>
1	6,5	6,1	64,20	64,30	64,30	<b>64,3</b>	1208,0	665,8	1210,4	544,6	2,218	2,308	3,913	16,96	76,9	2,72	945	0,980	926
2	6,5	6,1	64,30	64,30	64,30	<b>64,3</b>	1202,0	665,5	1205,4	539,9	2,226	2,308	3,558	16,65	78,6	2,02	945	0,980	926
3	6,5	6,1	64,20	64,20	64,20	<b>64,2</b>	1204,0	665,2	1207,0	541,8	2,222	2,308	3,736	16,80	77,8	1,97	940	0,982	923
<b>ORT</b>											<b>2,222</b>		<b>3,736</b>	<b>16,80</b>	<b>77,8</b>	<b>2,24</b>			<b>925</b>
1	7,0	6,54	64,00	64,00	64,00	<b>64,0</b>	1218,0	671,3	1220,4	549,1	2,218	2,295	3,362	17,34	80,6	2,94	922	0,988	911
2	7,0	6,54	64,00	64,00	64,00	<b>64,0</b>	1227,0	676,9	1229,6	552,7	2,220	2,295	3,282	17,27	81,0	2,68	926	0,988	915
3	7,0	6,54	64,00	64,00	64,00	<b>64,0</b>	1220,0	674,0	1223,0	549,0	2,222	2,295	3,186	17,19	81,5	1,79	917	0,988	906
<b>ORT</b>											<b>2,220</b>		<b>3,276</b>	<b>17,27</b>	<b>81,0</b>	<b>2,47</b>			<b>911</b>
1	7,5	6,98	63,30	63,30	63,30	<b>63,3</b>	1220,0	670,0	1221,7	551,7	2,211	2,282	3,117	17,98	82,7	1,95	875	1,005	879
2	7,5	6,98	63,40	63,40	63,40	<b>63,4</b>	1228,0	678,0	1231,6	553,6	2,218	2,282	2,816	17,73	84,1	1,98	870	1,003	873
3	7,5	6,98	63,30	63,30	63,30	<b>63,3</b>	1224,0	673,0	1226,4	553,4	2,212	2,282	3,098	17,96	82,8	1,42	866	1,005	870
<b>ORT</b>											<b>2,214</b>		<b>3,010</b>	<b>17,89</b>	<b>83,2</b>	<b>1,78</b>			<b>874</b>



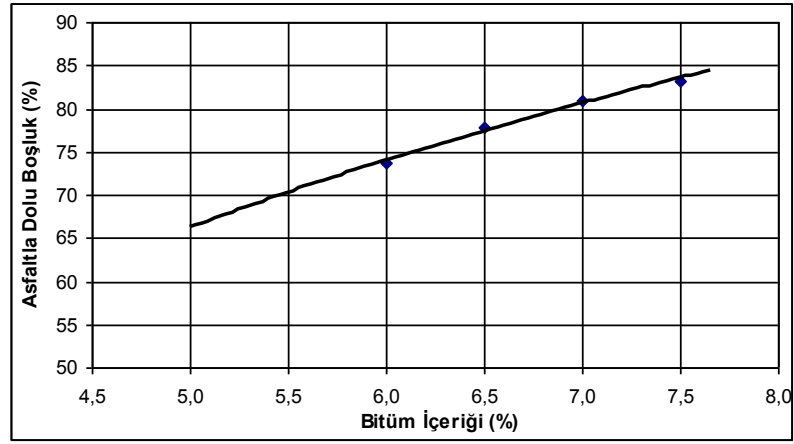
gekil 5.7 TaÇ mastik asphalt için pratik özgül ağırlık – bitüm içeriği grafiği



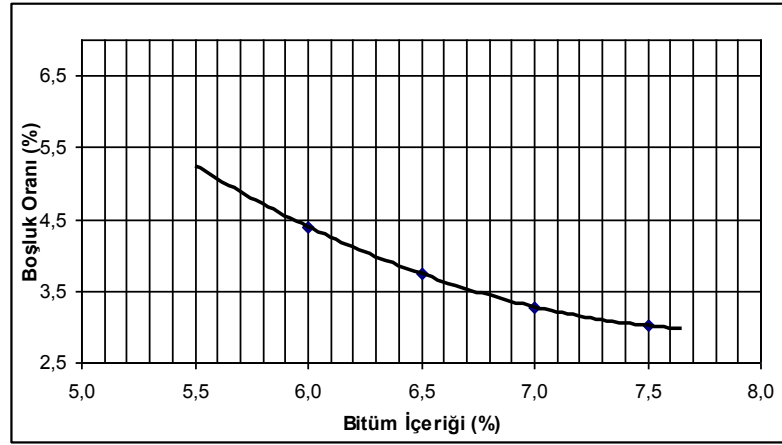
gekil 5.8 TaÇ mastik asphalt için stabilite – bitüm içeriği grafiği



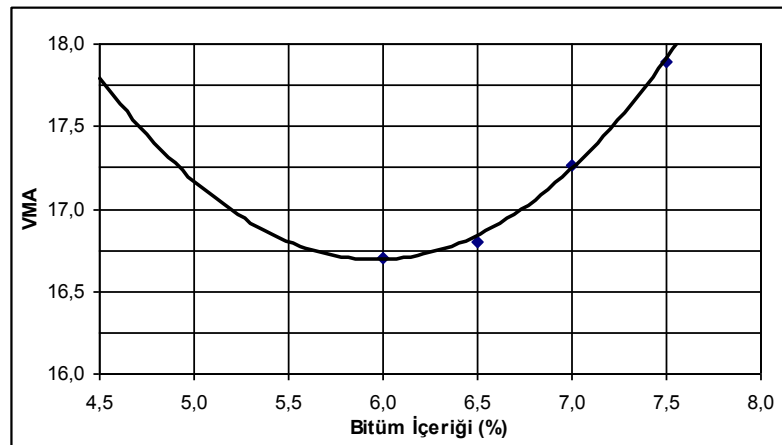
gekil 5.9 TaÇ mastik asphalt için akma– bitüm içeriği grafiği



şekil 5.10 TaÇmastik asfalt için asfaltla dolu boşluk – bitüm içeriği grafiği



şekil 5.11 TaÇmastik asfalt için boşluk oranı – bitüm içeriği grafiği



şekil 5.12 TaÇmastik asfalt için VMA – bitüm içeriği grafiği

### 5.1.3.2 Yoğun Gradasyonlu Asfalt

Yoğun gradasyonlu asfalt numunesinin daha önceden belirlenen gradasyona göre hazırlanması laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Yoğun gradasyonlu asfaltın agrega gradasyonu şu gibidir.

Tablo 5.10 Yoğun gradasyonlu asfalt üretiminde kullanılan agrega gradasyonu

KARIŞIM ORANLARI					TOPLAM	YOĞUN GRADASYONLU ASFALT			
KULLANIM ORANLARI		15	45	40	<b>100</b>				
ELEK AÇIKLIĞI		(19-12,5) mm Bazalt	(12,5-5) mm Bazalt	(5-0) mm Kalker	KARIŞIM	LİMİTLER			
mm.	inch.	% geçen	% geçen	% geçen	GRAD.	ğartname		Tolerans	
19,1	3/4"	100	100	100	<b>100</b>	100	100	100	100
12,7	1/2"	35,7	100	100	<b>90</b>	83	100	85	95
9,52	3/8"	2,5	89	100	<b>80</b>	70	90	75	85
4,76	No.4	0,4	16	100	<b>47,3</b>	40	55	42	52
2,00	No.10	0,3	1,2	81	<b>33</b>	25	38	29	37
0,42	No.40	0,2	0,7	33	<b>13</b>	10	20	10	17
0,177	No.80	0,15	0,4	22	<b>9</b>	6	15	6	13
0,075	No.200	0,1	0,2	13	<b>5,3</b>	4	10	4	7

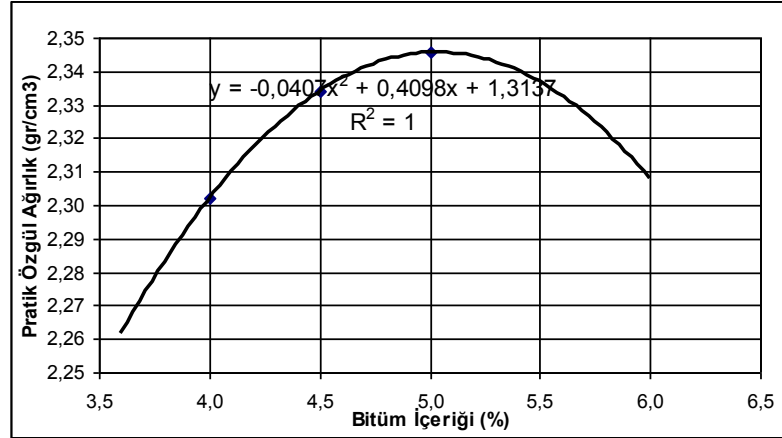
Tabloda görülen agrega gradasyonuna göre Marshall stabilite deneyi ile optimum bitüm içeriği saptanmış ve bulunan optimum bitüm içeriğine göre karıştırma, serme ve sıkıştırma işlemleri uygulanmıştır.



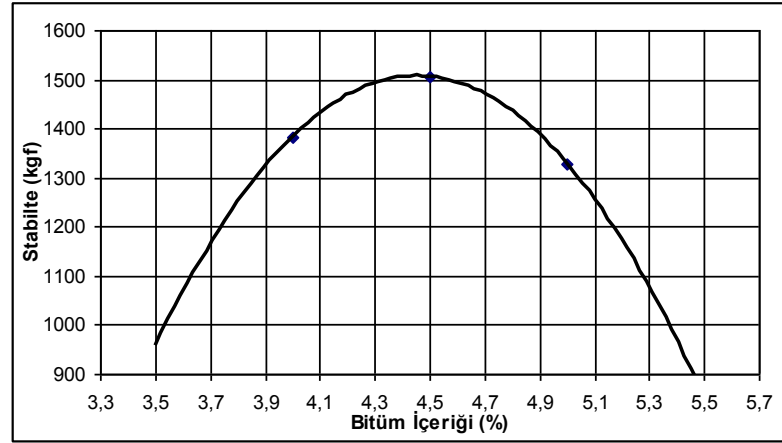
Şekil 5.13 Yoğun gradasyonlu asfalt üretim aşamaları

Tablo 5.11 Yoğun gradasyonlu asfaltın Marshall stabilite deneyi sonuçları

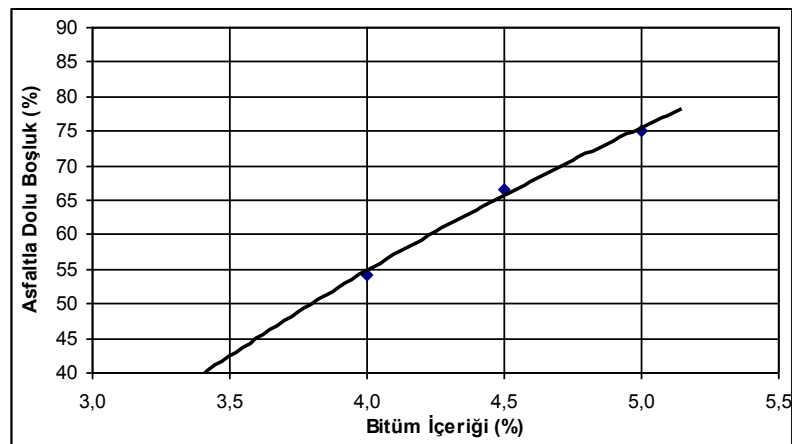
Numune No.	BİTÜM YÜZDESİ		BRIKET YÜKSEKLİĞİ				Havadaki Ağ. (gr.)	Sudaki Ağ. (gr.)	DYKA (SSD, gr.)	Hacim	Hacim Özg. Ağ.	Maks. Teo. Özg. Ağ.	Boşluk (%)	VMA	VFA	AKMA	STABİLİTE	Düz.Fakt.	Düz.Stab.
	Wa	Wb	1	2	3	ORT.	A	C	B	V	Dp	Dt	Vh	(%)	%	mm	kgf		kgf
1	4,0	3,8	63,16	63,40	63,26	<b>63,3</b>	1180,1	671,6	1185,9	514,3	2,295	2,4560	6,573	13,98	53,0	2,38	1351	1,005	1358
2	4,0	3,8	64,00	63,88	63,78	<b>63,9</b>	1178,8	674,3	1185,0	510,7	2,308	2,4560	6,018	13,47	55,3	2,04	1548	0,990	1533
3	4,0	3,8	64,40	64,32	64,28	<b>64,3</b>	1180,4	675,6	1188,1	512,5	2,303	2,4560	6,221	13,66	54,5	1,79	1284	0,980	1258
<b>ORT</b>											<b>2,302</b>		<b>6,271</b>	<b>13,71</b>	<b>54,3</b>	<b>2,07</b>			<b>1383</b>
1	4,5	4,3	62,72	62,96	63,06	<b>62,9</b>	1178,8	676,1	1181,4	505,3	2,333	2,4399	4,385	12,97	66,2	2,63	1498	1,015	1520
2	4,5	4,3	63,24	63,22	63,44	<b>63,3</b>	1186,7	681,0	1189,9	508,9	2,332	2,4399	4,425	13,00	66,0	3,27	1504	1,005	1512
3	4,5	4,3	63,26	63,58	63,48	<b>63,4</b>	1190,8	683,6	1193,1	509,5	2,337	2,4399	4,208	12,81	67,1	2,68	1483	1,003	1487
<b>ORT</b>											<b>2,334</b>		<b>4,339</b>	<b>12,92</b>	<b>66,4</b>	<b>2,86</b>			<b>1506</b>
1	5,0	4,8	62,96	63,10	63,16	<b>63,1</b>	1190,6	685,6	1192,9	507,3	2,347	2,4241	3,181	12,86	75,3	2,28	1253	1,01	1266
2	5,0	4,8	62,66	62,78	62,72	<b>62,7</b>	1184,2	682,2	1186,8	504,6	2,347	2,4241	3,186	12,86	75,2	2,57	1264	1,02	1289
3	5,0	4,8	62,62	63,02	63,08	<b>62,9</b>	1186,8	682,6	1189,1	506,5	2,343	2,4241	3,338	13,00	74,3	2,10	1413	1,015	1434
<b>ORT</b>											<b>2,346</b>		<b>3,235</b>	<b>12,91</b>	<b>74,9</b>	<b>2,32</b>			<b>1330</b>



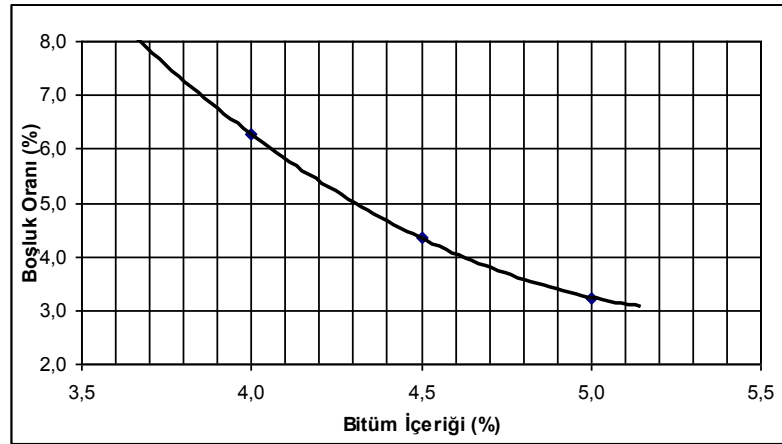
şekil 5.14 Yoğun gradasyonlu asfalt için pratik özgül ağırlık – bitüm içeriği grafiği



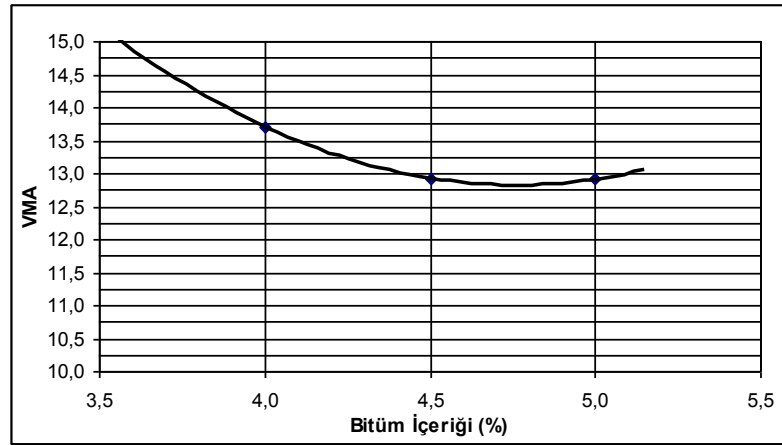
şekil 5.15 Yoğun gradasyonlu asfalt için stabilite – bitüm içeriği grafiği



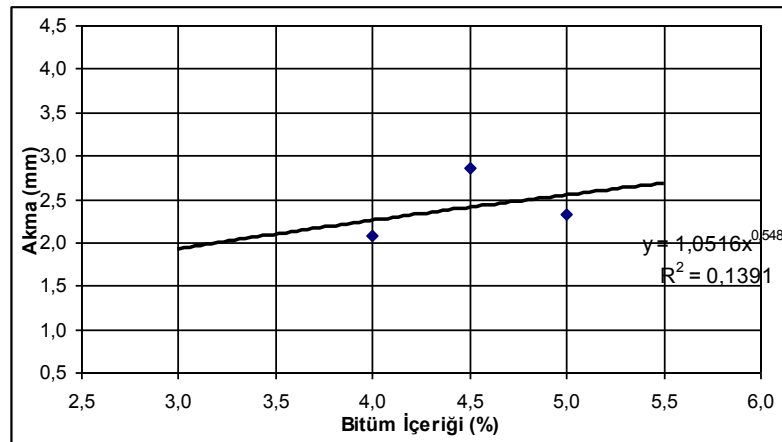
şekil 5.16 Yoğun gradasyonlu asfalt için asfaltla dolu boşluk – bitüm içeriği grafiği



şekil 5.17 Yoğun gradasyonlu asfalt için boşluk oranı – bitüm içeriği grafiği



şekil 5.18 Yoğun gradasyonlu asfalt için VMA – bitüm içeriği grafiği



şekil 5.19 Yoğun gradasyonlu asfalt için akma– bitüm içeriği grafiği

Elde edilen grafikler sonucunda yoğun gradasyonlu asfalt karışımları için bitüm yüzdeleri; pratik özgül ağırlık için 5,00, stabilite değeri için 4,45, VFA değeri için 4,72 ve boğluk oranı değeri için 4,61 bulunmuştur. Bu dört değerlerin ortalaması alınarak optimum bitüm yüzdesi % 4,70 olarak bulunmuştur. Elde edilen optimum bitüm değerine göre karışımlar 40 kg. agrega ve 1,88 kg. bitüm ile hazırlanmıştır.

### 5.1.3.3 Poroz Asfalt

Poroz asfaltlar için ülkemizde herhangi bir gradasyon standardı bulunamamıştır. Bu sebeple gradasyon sınırları NAPA'nın (National Asphalt Pavement Association.) belirlediği gradasyon sınırları olarak alınmıştır. Poroz asfaltın yapısı gereği daha hafif olması sebebiyle agrega olarak sadece kalker kullanılmıştır. Boğuklu yapı, sıkıştırma ile değil, seçilen agrega gradasyonu sonucu oluşturulmuştur.

Tablo 5.12 Poroz asfalt karışımında agrega gradasyonu (NAPA , 2003)

Standart Elek Boyutu	Geçen Yüzde
19 mm	100
12,5 mm	85 - 100
9,5 mm	55 - 75
No. 4	10 - 25
No . 8	5 - 10
No . 200	2 - 4

Tablo 5.13 Poroz asfalt karışımında seçilen agrega gradasyonu

İnch	NAPA , 2003		
	Elek (mm)	% Geçen	% Kalan
3/4"	19	100	0
1/2"	12,5	92,5	7,5
3/8"	9,5	65	27,5
No.4	4,75	17,5	47,5
No.10	2	7	10,5
No.40	0,425	5	2
No.80	0,177	4	1
No.200	0,075	3	1
Filler			3



Yapılan araştırmalar sonucunda, ÷lkemizde poroz asfalt ile ilgili bir standart bulunmadığı için optimum bitüm içeriği Marshall metodu ile bulunamamıştır. Gerekli olan stabilite, akma oranı ve boğluk oranı ile ilgili herhangi bir standart bulunmadığından bu tip karışımlarda Marshall deneyinin uygulanmaması gerektiği ortaya çıkmıştır. (Kanböre, Y. ve Erdiñ, C. 1998)

Bu sebeple NAPA'nın önerdiği optimum bitüm içeriği olarak % 6-6,5 değerlerinden % 6,25 sečilmiř, ÷lkemizdeki yaz ayları sıcaklıklarının 30 °C'nin üstüne çıkması göz önüne alınarak bitüm içeriği %5,75 olarak alınmıştır.

## **5.2 Rijit Kaplamalar**

### ***5.2.1 Rijit Kaplamalarda Kullanılan Malzemeler Ve Özellikleri***

Deneysel çalışmalarda kullanılan hazır beton, Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayi A.đ. Ğzmir - Bornova hazır beton santralinden temin edilmiştir.

DFT testinin rahat bir şekilde yapılması açısından test cihazının ebatları dikkate alınarak numune boyutları 50x50x10 cm olarak sečilmiřtir. Üretilen düşük çökme değerine sahip taze beton, hazırlanan 4 adet ahğap kalıp içerisine dökülmüş, vibrasyon uygulanarak yerleştirilmiş ve taze beton yüzeyleri mastarlanmıştır. Daha sonra beton numune yüzeyleri, farklı yüzey dokuları elde etmek amacı ile biri beton yol fırçası (kıl fırça) ile pürüzlendirilmiş, bir numune hiç pürüzlendirilmemiş bir numune beton prizini almaya bağladıktan 5 saat sonra yüzeyine basınçlı su püskürtülerek agregaların yüzeyde görünür hale gelmesi sağlanmış ve bir numune de ise eski bir yöntem olan çuval çekme yöntemi uygulanmıştır. Fırça ile pürüzlendirmeler normal basınç altında ve fırça dik konumda tutularak beton üzerine uygulanmıştır. Yıkanmış beton yönteminde ise su basıncı, suyun püskürtme açısı ve zaman kontrolü ile istenilen yüzey dokusu elde edilmiştir. Uygulamada iri agregaların beton yüzeyinden ayrılmamasına dikkat edilmiştir.

### 5.2.1.1 Çimento

Deneysel çalışmada CEM I IBM (LW) 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Karışım suyu olarak TS EN 1008'e uygun Çiğir Çöke suyu kullanılmıştır. Su / Çimento oranı 0,43'tür. Beton karışımları Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayi A.ğ. Çiğir - Bornova hazır beton santralinden temin edilmiştir. Hazır betonda kullanılan çimento miktarı 355 kg/m<sup>3</sup>'tür. Hazır betonda kullanılan mineral katkı ise uçucu küldür. Uçucu kül miktarı ise 30 kg/m<sup>3</sup>'tür. Hazırlanan betonun dayanım sınıfı ise C40/50'dir.

### 5.2.1.2 Agrega

Deneysel çalışmada kullanılan kalker üzerinde yapılan kimyasal analiz sonucu Tablo 5.14'de ve bazı fiziksel özellikler Tablo 5.15'de verilmiştir.

Tablo 5.14 Beton karışımlarında kullanılan agreganın kimyasal analizi

	Si O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	k.k*	Kalıntı
<b>Kalker</b>	0,1	0,4	0,3	54,9	0,5	0,2	-	-	42,9	1,0

\*k.k:kızdırma kaybı

Tablo 5.15 Agrega fiziksel özellikleri

Özellik	İnce Agrega (0-5)	İri Agrega		Deney Standardı
		5/15	15/25	
<b>KYD Özgül ağırlık</b>	2,68	2,69	2,70	TS EN 1097-6
<b>Su emme (%)</b>	0,95	0,18	0,19	TS EN 1097-6
<b>İnce malzeme (%)</b>	9	-	-	TS 3527
<b>Organik madde</b>	yok	yok	yok	TS 3673
<b>Dona dayanıklılık (NaSO<sub>4</sub>)</b>	-	1,65	1,47	TS 3655
<b>Los Angeles aşınma %'si</b>				
100 devir, (%)	-	6		TS EN 1097-2
500 devir, (%)	-	28		

## 5.2.2 Kullanılan Ekipmanlar

### 5.2.2.1 Kalıplar

Beton yol temsili numuneler hazırlamak için 50 cm x 50 cm x 10 cm derinlikli ahşap kalıplar hazırlanmıştır.



Şekil 5.20 Beton numuneler için ahşap kalıp

### 5.2.2.2 Fırça

Fırça ile pürüzlendirme yapmak için beton yol imalatında kullanılan fırça temsili sert kıllı fırça kullanılmıştır.



Şekil 5.21 Beton numunelerin pürüzlendirilmesi için fırça

### 5.2.2.3 çuval

uval ekme ile pürüzlendirme yapabilmek için kalın ve geniilmekli sert çuval kullanılmıştır.



ekil 5.22 Beton numunelerin pürüzlendirilmesi için uval

### 5.2.3 Karıım Ve Döküm

Hazır beton olarak antiyeye gelen beton, transmikser yardımı ile gelmiştir ve karıım yine transmikserde sağlanmıştır. Döküm ise 3 ayrı kademedede vibrasyonu sağlanarak yapılıp, belli bir süre priz almaya bırakılmıştır. Priz almaya bağladıktan sonra pürüzlendirme yöntemleri uygulanmıştır.



ekil 5.23 Beton numunelerin döküm esnası



Şekil 5.24 Beton numunelerin döküm sonrası

#### ***5.2.4 Taze Ve Sertleşmiş Betona Uygulanan Deneyler***

İncelenen taze ve sertleşmiş beton özellikleri Tablo 5.16 ve Tablo 5.17’de verilmiştir. Basınç deneyleri 6 adet 15 cm ayrıtlı küp örnekler üzerinde, 7 ve 28 günlük standart kür işlemi sonunda ELE marka Autotest 3000 model, 300 ton kapasiteli hidrolik beton presi ile 680 kgf/s yükleme hızında yapılmıştır.



Şekil 5.25 Dayanım ölçümü için hazırlanan küp numuneler



Şekil 5.26 Küp numunelerin basınç dayanımının belirlenmesi

Tablo 5.16 Taze beton özellikleri

Beton özelliği	Deney yöntemi	Deney sonucu
Beton sıcaklığı, °C	Termometre ile ölçüm	26
Çökme (Slump)	Çökme (Slump)	4
Taze BHA, g/cm <sup>3</sup>	8 litrelik kabın BHA'lığı	2,40
HapsolmuÇ hava %'si	Basınçlı kap	1,9
Terleme	Kalıp yüzeyi gözlemi	yok

Tablo 5.17 Sertleşmiş beton özellikleri

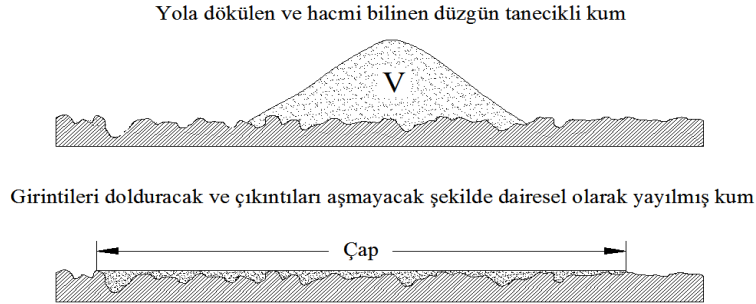
Öngörülen beton sınıfı = C 40 / 50	
7 Günlük dayanım (Mpa)	28 Günlük dayanım (Mpa)
47,38	56,84
44,5	56,84
46,83	54,66
<b>ORT = 46,2</b>	<b>ORT = 56,1</b>

### 5.3 Deney Yöntemleri

#### 5.3.1 Kum Yaması (Yüksekliği) Yöntemi (ASTM E 1845)

“Giltire”de geliştirilen bu deneyin amacı kaplamanın makrodokusunun boyutunu belirlemektir.

Boyutları standartlaştırılmış  $25 \text{ cm}^3$  kum, kaplamanın girintilerini dolduracak ve çıkıntılarını aşmayacak şekilde, bir kauçuk yardımıyla, yüzey üzerine dairesel olarak yayılır. Dairenin ortalama çapı (D) ölçülür. Kumun hacminin (V) daire alanına oranına “Kum Yüksekliği (HS)” denir.



Şekil 5.27 Kum yama deneyi

Tablo 5.18 Ortalama doku derinliği için sınırlar

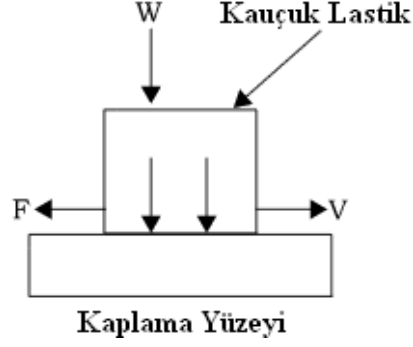
Ortalama doku derinliği için ölçütler	Sonuç
$HS < 0,2 \text{ mm}$	Yol trafiğe kapatılmalıdır.
$0,2 < HS < 0,4 \text{ mm}$	Hız $< 80 \text{ km/saat}$ olmalıdır.
$0,4 < HS < 0,8 \text{ mm}$	$80 < \text{Hız} < 120 \text{ km/saat}$ olmalıdır.
$0,8 < HS < 1,2 \text{ mm}$	Hız $> 120 \text{ km/saat}$ olmalıdır.
$HS > 1,2 \text{ mm}$	Tehlikeli bölgelerde kullanılabilir.

### 5.3.2 Dinamik Sürtünme Ölçer Test Yöntemi

Bu yöntem ve elektronik olarak kontrol edilen donanım Japonya’da geliştirilmiştir (Şekil 5.28 ve 5.29). DFT, saha ve laboratuvar ölçümlerinde kalite kontrol/kalite güvencesi, proje ve araştırmalarda yararlanılmak üzere sürtünme verilerinin elde edilmesi için kullanılır. Deney yöntemi ASTM E 1911’de belirtilmiştir. Temel prensibi Kolomb’un sürtünme yasasına dayanır. Cihazda, üç kauçuk pabucun bağlı olduğu, kendi eksenini etrafında dönen ve hızı değiştirilebilen bir disk bulunmaktadır (Şekil 5.29). Test sırasında, disk istenilen hıza ulaştığında otomatik olarak kaplama yüzeyine dik bir şekilde alçalarak yola temas eder. Şekil 5.28, de de gösterildiği gibi,



kauçuk lastikler yol yüzeyine dik bir şekilde etkiyen  $W$  sabit yükü altında ve doğrusal bir  $F$  kuvveti ile  $V$  hızında döner.  $F$  kuvveti kaplama ile kauçuk lastikleri arasındaki sürtünme kuvvetidir.



Şekil 5.28. Dinamik sürtünme ölçer (DFT) cihazında dönen diske etkiyen kuvvetler

$F$  ile  $W$  arasında aşağıdaki gibi bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişki sonucunda sürtünme katsayısı ( $\mu$ ) bulunur:

$$\mu = F / W \quad [5.1]$$

Yukarıdaki denklemde  $W$  değeri sabit tutularak,  $1/W$  yerine (bir oran sabiti olan)  $K$  getirilirse aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\mu = K \times F \quad [5.2]$$

Denklemden de anlaşılacağı gibi  $\mu$  katsayısı,  $F$  kuvveti ile doğru orantılı olarak değişkenlik gösterir. 20, 40, 60 ve 80km/saat hız değerlerinde pik sürtünme ölçüm değerleri alınabilmektedir (Şekil 5.29).





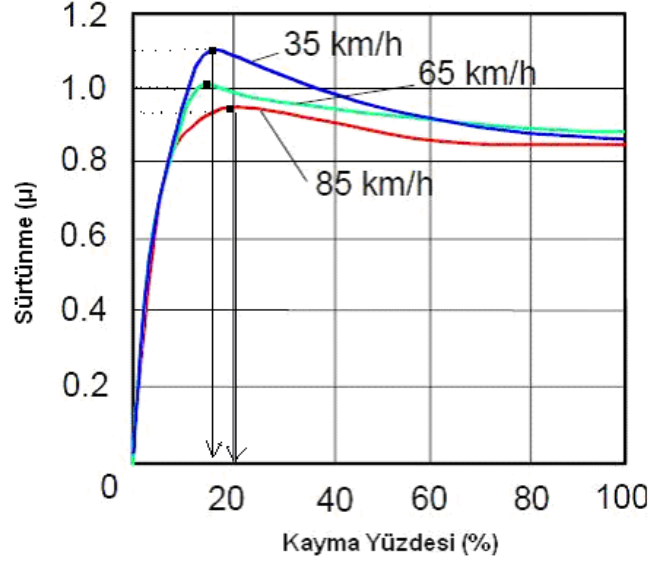
Şekil 5.29 Dinamik sürtünme ölçer test cihazı

Bu yöntem, her adımda tekrar edilebilme ve yeniden yapılabilme imkanı sunmakla birlikte, İngiliz Sarkacı Deneyi'nde (British Pendulum Test) olduğu gibi, rüzgar, hatalı okuma gibi dış etkenlerden kesinlikle etkilenmemektedir. Cihazın kurulumu oldukça kolaydır. Böylelikle, ölçümler kısa bir sürede yapılmakta ve veriler anında değerlendirilebilmekte ve uluslararası kayma direnci indeksi (IFI-ASTM E-1960) değerine kolayca ulaşabilmektedir. Ayrıca bu yöntem ile yüksek hızlardaki sürtünme değerleri elde edilebilmektedir.

Şekil 5.30'da, sürtünmenin yolculuk hızı ve frenleme derecesi ile nasıl değiştiği gösterilmiştir. Şekilde, lastik – kaplama yüzeyi için evrensel sürtünme modeli hız değişkeni ve kayma hızı olarak nitelendirilen frenleme derecesi ile açıklanmaktadır. Farklı hızlar ile hareket eden taşıtların lastikleri, frenleme sırasında Şekilde görüldüğü gibi yol kaplamasının duruma göre farklı maksimum sürtünme değeri almaktadırlar. Dinamik Sürtünme Ölçer cihazı, tüm eğrileri tek bir sürtünme eğrisi olarak değerlendirmekte ve Şekil 5.30'da gösterildiği gibi hıza bağlı değişimi vermektedir. Diğer bir ifade ile, sabit kauçukları barındıran deney cihazından elde edilen eğri, adımda veriler eğrilerin birleşimi olarak değerlendirilebilir. Birleşik eğrinin maksimum sürtünme değerine kadar olan bölümü direkt olarak taşıt lastiğinin durumu ile ilişkilidir. Pik noktası olarak adlandırılabilen max. Sürtünme değerinden sonraki bölümü yol mühendisleri açısından önemlidir.

Sıcaklığın DFT değerleri üzerinde etkisini araştıran çalışmada özellikle 12°C ile 30°C arasında uygulanan DFT deneyi üzerinde sıcaklığın önemli bir etkisi olduğunu

göstermiştir (Fuentes ve diğer., 2010). DFT deneylerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, sıcaklık değerlerinin artmasıyla sürtünme değerlerinde genel olarak azalma olduğu görülmüştür (Topal, A. ve diğer., 2011). Fakat bu çalışma kapsamında sıcaklık etkisi gözlemlenmeden deneyler 20°C'de yapılmıştır.



Şekil 5.30 Kuru yüzeyde lastik ile sürtünme arasındaki ilişki (Clark, 1981)

### 5.3.2.1 Dinamik Sürtünme Ölçer ile Sürtünme Katsayısı Tayini

Kontrol ünitesi, DFT ana gövdesi ve su tankından oluşmaktadır. Bu ünite kullanılarak yapılacak sürtünme katsayısı ( $\mu$ ) ölçümleri, aşağıda maddeler halinde verildiği gibi yapılır:

- DFT kontrol ünitesindeki güç çıkış kablosu, 12 V 60 Ah'lık güç kaynağına (otomobil aküsü) bağlanır.
- Koruma kutusundan dikkatlice çıkarılan DFT ana gövdesi ölçümün yapılacağı noktaya konularak, ilgili kabloları DFT kontrol ünitesindeki ilgili yerlere bağlanır.
- Su tankına ait hortum, su akışında herhangi bir sorun olmadığından sonra DFT ana gövdesine bağlanır.
- DFT kontrol ünitesinde bulunan açma – kapama düğmesiyle cihaz açılır.

- Programın başlatılmasından sonra, DFT ana gövdesindeki açma – kapama düğmesi kullanılarak ana gövde de çalıştırılır.
- DFT kontrol ünitesindeki başlangıç menüsünden deneye ilişkin ayrıntılı kurulum ayarları yapılır (Tekrar sayısı, disk dönme hızı ve DFT kontrol ünitesi – ana gövde arasındaki iletişim seçenekleri belirlenir.)
- Ölçüm moduna geçilerek deneyin yapılacağı istasyon noktası için istasyon ismi, kontrol numarası, ölçüm yöntemi (otomatik veya el ayarı ile), kayma hızı belirlenir.
- DFT kontrol ünitesindeki LCD ekranda bulunan “Execute” (uygula – çalıştır) tuşuna basıldıktan sonra ana gövdedeki manyetik kilit açılır ve deneye başlanır.
- Çıkarılan hıza gelen disk, kaplama ile temas ederek sürtünme hızını ölçer ve hız 0 km/sa olana kadar bu ölçüm devam eder. Diskin dönmesi sırasında DFT ana gövdesi, DFT kontrol ünitesinden gelen talimatla su tankından otomatik olarak su almaya başlar ve ölçüm süresince almaya devam eder.
- Diskin durmasıyla birlikte sürtünme katsayısı verileri ( $\mu$ ), kontrol ekranında kayma hızına bağlı olarak grafiksel bir şekilde gösterilir.
- LCD ekrandaki “Confirm” (onayla) tuşuyla veriler kaydedilir.
- Tekrar sayısı kadar ölçüm yapılır.
- Bu veriler daha sonra veri transferi yolu ile DFT kontrol ünitesinden bilgisayara aktarılır.

Farklı ölkelerde veya farklı laboratuvarlarda dinamik sürtünme cihazından farklı cihazlar ile sürtünme direnç değerleri elde edilmektedir. Dolayısıyla bu durum farklı hız-sürtünme eğrilerini ortaya çıkartabilmektedir. Bu karmaşıklığı ortadan kaldırmak ve sürtünme parametrelerinde bir harmonizasyon elde etmek için Uluslar arası Sürtünme İndeksi terimi geliştirilmiştir.

### **5.3.3 Lazer Tarama Sistemi**

Lazer tarama sistemi, oldukça yeni ve teknolojik açıdan üstün bir yöntemdir. Sistemin genel görünüşü Şekil 5.31’de verilmektedir.



Şekil 5.31 Metris lazer tarama sistemi

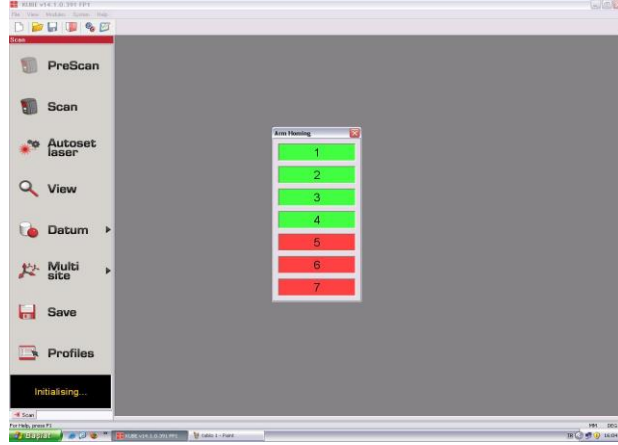
Sistem laboratuvar şartlarında çalışmak üzere tasarlandığından, arazi ölçümlerinin rahatça yapılabilmesi için Şekil 5.32’de gösterildiği gibi bir taşıma aparatı geliştirilmiştir.



Şekil 5.32 Lazer tarama sistemi ve yazılımı için geliştirilen taşıma aparatı

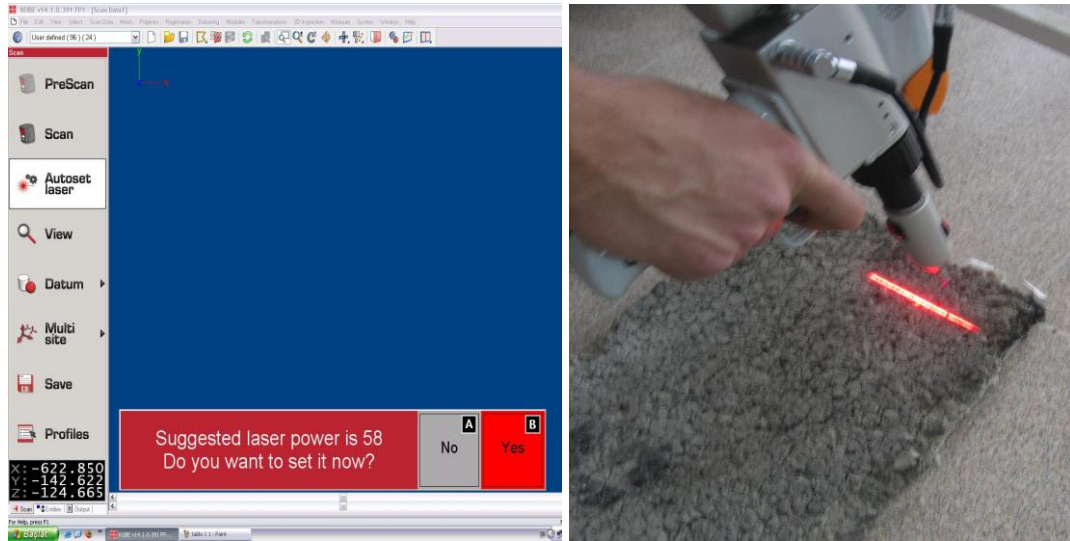
Lazer tarama sistemiyle yüzey dokusunun belirlenmesinde uygulanan adımlar aşağıda ana hatlarıyla anlatılmıştır.

Öncelikle, lazer kol ve buna bağlı bilgisayar açılarak öncelikle lazer kola ait 7 eksen çekil 5.33’de gösterildiği gibi tanıtılır.



çekil 5.33 Lazer kola ait eksenleri yazılıma tanıtılması

“Autoset Laser” komutuyla lazer Çiddet çekil 5.34’de gösterildiği gibi, ortamın ışık seviyesine bağlı olarak en uygun taramayı yapmak üzere ayarlanır.



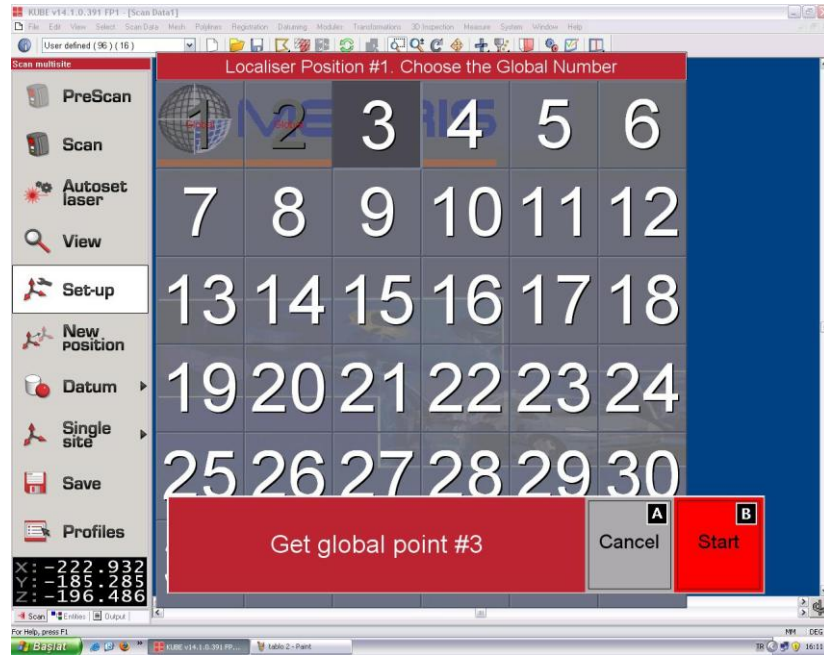
çekil 5.34 Autoset laser komutuyla lazer Çiddetinin ayarlanması

Daha sonra “Multisite” menüsü içerisindeki “Set up” komutuna girilerek önceden taramanın alınacağı yerlere sabitlenmiş olan ve çekil 5.35’de gösterilen her bir Lazer Probe Çatçisine (Marker) dokunularak lokasyonlar yazılıma tam olarak tanıtılır (çekil 5.36). Bu işlem diğer periyotlarda yapılacak arazi çalışmaları sırasında ölçümlerin

daima aynı noktadan alınabilmesini sağlamaktadır. Böylece, yüzey dokusu değimleri aynı en kesitler için incelenebilecektir.



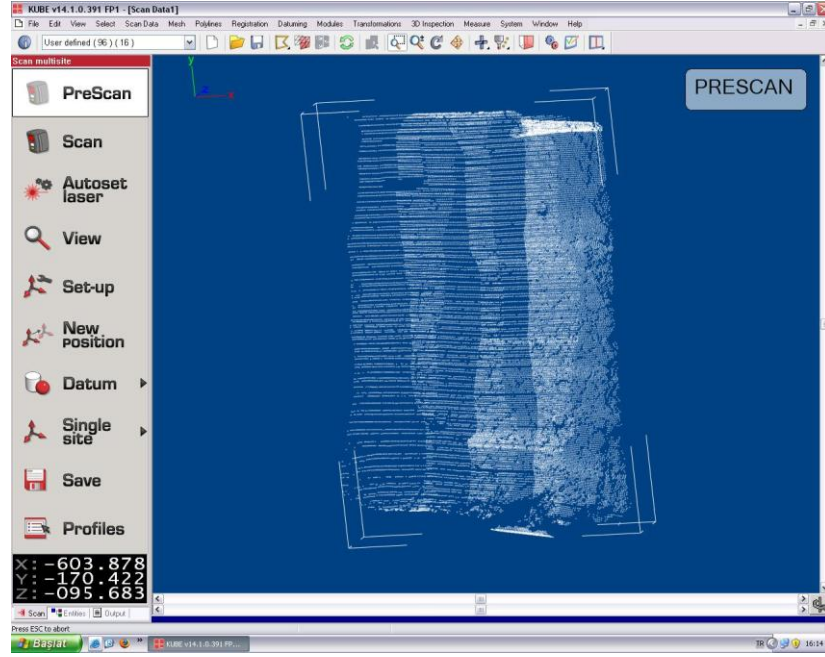
gekil 5.35 Lazer probe iaretçisi (marker)



gekil 5.36 Markerlarla tarama alınacak yerin yazılıma tanıtılması

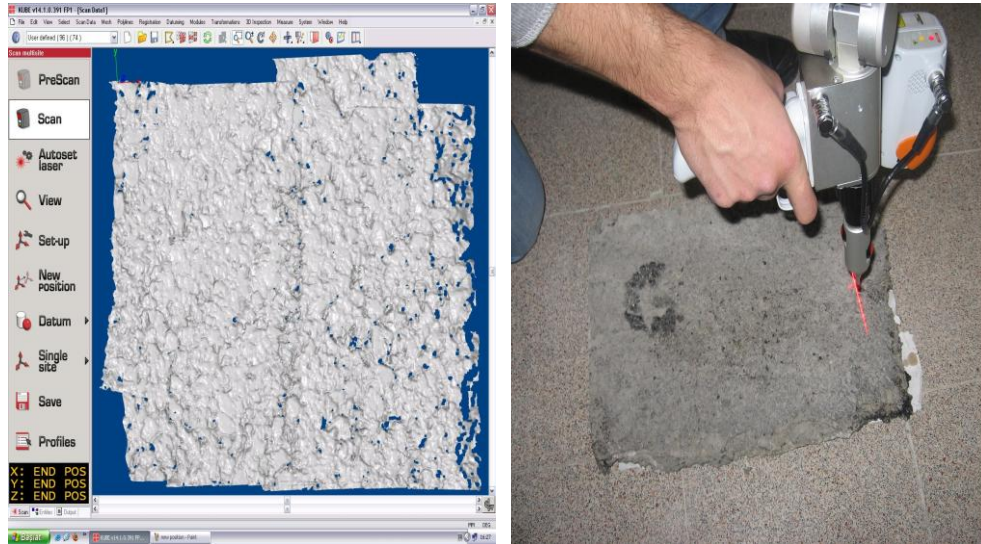
“Prescan” komutuyla tarama yapılacak yerin alanı, hacmi ve sınırları gekil 5.37’deki gibi belirlenir.





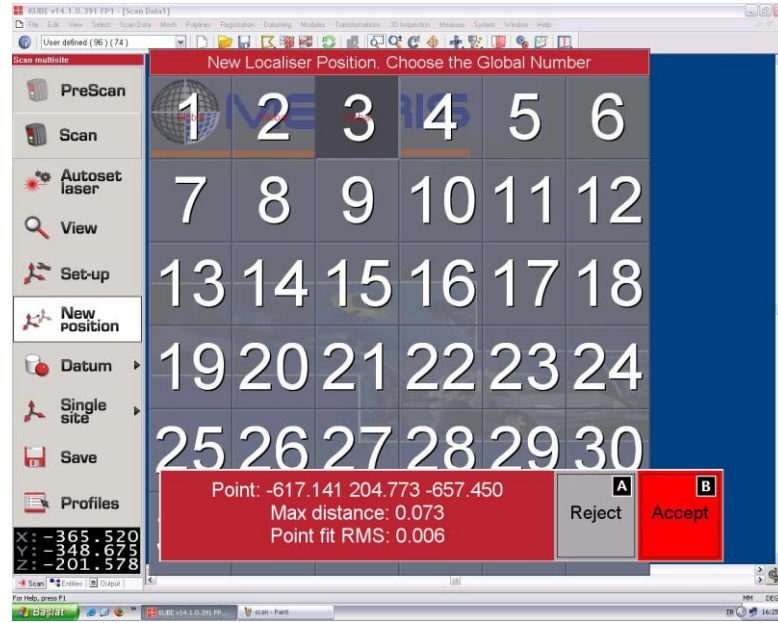
ğekil 5.37 : “Prescan” komutuyla tarama yapılacak yerin alanı, hacmi ve sınırlarının belirlenmesi

“Scan” komutuna geçilerek ğekil 5.38’de gösterildiğ gibi incelenecek olan kaplama yüzeyinden tarama alınır. Bu iğleme, yol yüzeyinden azami sayıda veri alınıncaya kadar devam edilir.



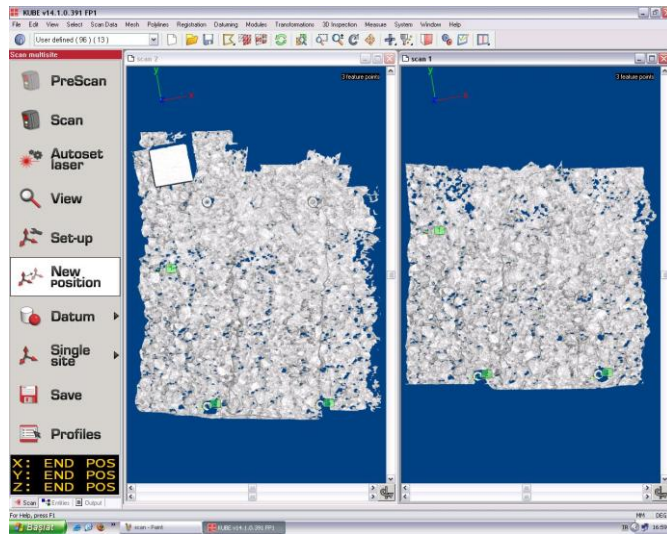
ğekil 5.38 Lazer tarama sistemiyle yüzeyden veri alınması.

Sonraki taramalarda yine aynı yerin taranabilmesi için “Multisite” menüsü içerisindeki “New position” komutuyla çekil 5.39’da gösterildiği gibi markerların yerleri sisteme yeniden tanıtılır.



çekil 5.39 New position komutuyla markerların yerlerinin sisteme yeniden tanıtılması.

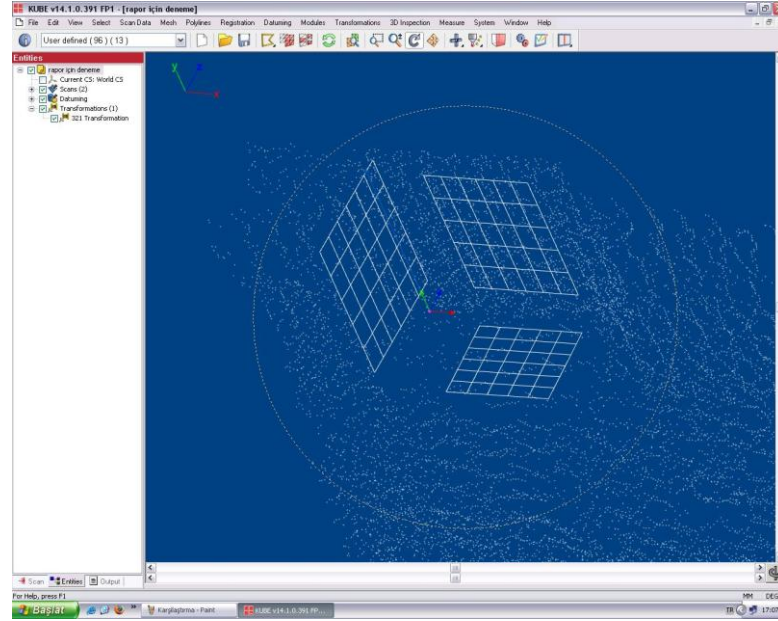
Araziden alınan “.sab2” uzantılı tarama verileri, yazılım kullanılarak, “.stl” uzantılı dosyalara çevrilir ve elde edilen veriler arasında çekil 5.40’da görüldüğü gibi karşılaştırılmaları yapılır.



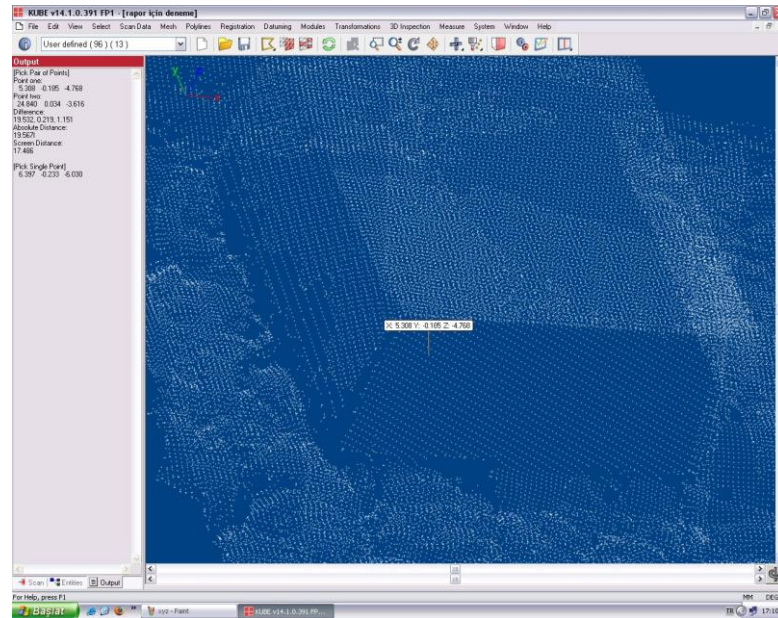
çekil 5.40 Verilerin birbiriyle karşılaştırılması



Karşılaştırmalar, tarama dosyasına şekil 5.41’de gösterildiği gibi referans geometri atandıktan sonra alınan en kesitlerdeki “polyline”lar üzerindeki noktaların “x”, “y” ve “z” eksenlerindeki konumu kullanılarak yapılır (şekil 5.42).



şekil 5.41 Referans geometrinin atanması



şekil 5.42 Noktaların “x”, “y” ve “z” eksenlerine göre konumu

Sonuçlara ait istatistiksel bilgiler “Export” komutu sayesinde “Excel”e aktarılarak değerlendirilir (şekil 5.43).

1	FileName	rapor için deneme											
2	Created	09.06.2009											
3	Modified	09.06.2009											
4	ReportDate	09.06.2009											
5													
6	Operator	Unknown Author											
7	ObjectName	Unknown Object											
8	ObjectNo												
9	Software	KUBE - 14.1.0.391 FP1											
10	Localiser Type	Metris MCA											
11	Localiser Version	03.04.2003											
12	Localiser S/N	1095											
13	Sensor Type	MM D100											
14	Sensor S/N	43137											
15	Length Units	mm											
16	Angle Units	deg											
17	Angle Units Decimal	Yes											
18	RoundSlotLength	Full Length											
19	Comments												
20	Current CS	World CS											
21													
22													
23	EntityName	Type	Group	IsLocked	Extents					Size			
24					MinX	MaxX	MinY	MaxY	MinZ	MaxZ	X	Y	Z
25													
26	Scan	Scan Data	Scans	Yes	-57,19	220,93	-278,3	-17,51	-27,58	-11,25	278,12	260,79	16,33
27	Scan 1	Scan Data	Scans	Yes	-58,98	238,15	-277,77	61,597	-26,21	2,804	297,13	339,36	29,02
28													

gekil 5.43 Verilerin excel programı ile değerlendirilmesi

## 5.4 Deneilerin Sonuçları

### 5.4.1 Kum Yama Deneyi Sonuçları

Daha önceki bölümde, deney uygulama Çatlarında anlatılanlar uygulanarak tüm numuneler üzerinde kum yama deneyi uygulanmıştır. 25 cm<sup>3</sup> hacmindeki kum numune üzerine dökülüp, kauçuk yardımı ile yüzey üzerinde dairesel Çkilde yayılmış ve üç farklı yönden yayılma çapı ölçülmüştür. Belirlenen üç farklı yayılma çapı değerlerinin ortalaması alınmış ve ortalama yayılma alanı bulunmuştur. Kullanılan kum hacminin, ortalama yayılma alanına oranlanması ile ortalama doku derinliği değerlerine ulaşılmıştır. Ortalama doku derinliği için gerekli olan sınır koşulları Çu Çkildedir.

$$HS (\text{Ortalama Doku Derinliği}) = (4 \cdot V) / (\pi \cdot D^2)$$

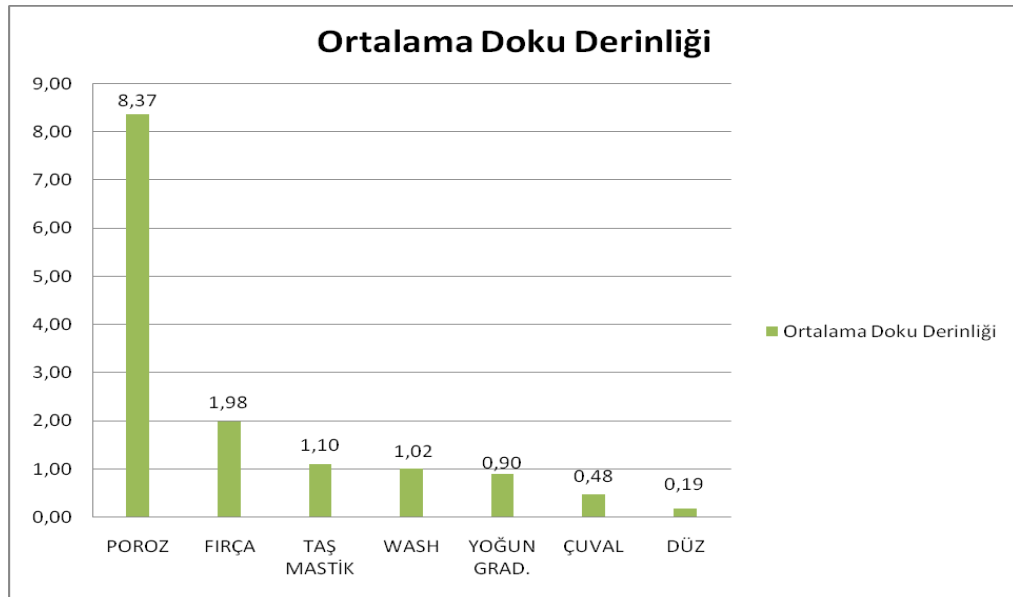
Tablo 5.18 Ortalama doku derinliği için sınır Çartları

Ortalama doku derinliği için ölçütler	Sonuç
$HS < 0,2$ mm	Yol trafiğe kapatılmalıdır.
$0,2 < HS < 0,4$ mm	Hız $< 80$ km/saat olmalıdır.
$0,4 < HS < 0,8$ mm	$80 < Hız < 120$ km/saat olmalıdır.
$0,8 < HS < 1,2$ mm	Hız $> 120$ km/saat olmalıdır.
$HS > 1,2$ mm	Tehlikeli bölgelerde kullanılabilir.

Tüm numunelere uygulanan kum yama deneyi sonuçları ise Çu Çekildi.

Tablo 5.19 Kum yama deneyi sonuçları

	ÖLÇÜM 1	ÖLÇÜM 2	ÖLÇÜM 3	ORT.	HS DEĞERLERİ
<b>POROZ</b>	6	6,5	6	6,17	8,37
<b>FIRÇA</b>	12	13	13	12,67	1,98
<b>TAŞ MASTİK</b>	16	17	18	17,00	1,10
<b>WASH</b>	17	18	18	17,67	1,02
<b>YOĞUN GRAD.</b>	18,5	19	19	18,83	0,90
<b>ÇUVAL</b>	26	25	26	25,67	0,48
<b>DÜZ</b>	39	41	42	40,67	0,19



ğekil 5.44 Ortalama doku derinliğinin grafik ile gösterimi



Şekil 5.45 Kum yama deneyinin uygulanıŐ

Bulunan ortalama doku derinliği değerlerinin (HS), sınır Őatlara göre sınıflandırılması ise Şu Şekildedir

Poroz asfalt numunesi iÇin bulunan HS değeri 8,37'dir.  $8,37 > 1,2$  mm. olduğu iÇin, poroz asfalt numunesi tehlikeli bölgelerde kullanılabilir.

FırÇa ile pürüzlendirilen beton numune iÇin bulunan HS değeri 1,98'dir.  $1,98 > 1,2$  mm. Olduğu iÇin, fırÇa ile pürüzlendirilen beton numunesi de poroz asfalt numunesi gibi tehlikeli bölgelerde kullanılabilir.

Taşmastik asfalt numunesi iÇin bulunan HS değeri 1,02'dir.  $1,2\text{mm} > 1,02 > 0,8$  mm. Çatını sağladığı iÇin, taş mastik asfalt numunesi iÇin hız  $> 120$  km/saat olmalıdır.

Yıkanmış(wash) beton numunesi iÇin bulunan HS değeri 0,90'dır.  $1,2\text{mm} > 0,90 > 0,8$  mm. Çatını sağladığı iÇin, yıkanmış(wash) beton numunesi iÇin hız  $> 120$  km/saat olmalıdır.

Yoğun gradasyonlu asfalt numunesi iÇin bulunan HS değeri 0,75'dir.  $0,8 \text{ mm} > 0,75 > 0,4$  mm. Çatını sağladığı iÇin, yoğun gradasyonlu asfalt numunesi iÇin  $120 > \text{hız} > 80$  km/saat arasında olmalıdır.

Çuval ile pürüzlendirilen beton numunesi için bulunan HS değeri 0,48'dir. 0,8 mm > 0,48 > 0,4 mm. Çatını sağladığı için, çuval ile pürüzlendirilen beton numunesi için aynı yoğun gradasyonlu asfalt numunesinde olduğu gibi, 120 > hız > 80 km/saat arasında olmalıdır.

Pürüzlendirilmemiş olan düz beton numune için HS değeri 0,19'dur. 0,19 < 0,2 mm Çatına uygun olduğu için pürüzlendirilmemiş düz beton numunesi yol statüsü sağlamamıştır ve trafiğe kapatılmalıdır.

#### 5.4.2 Dinamik Sürtünme Ölçer Yöntemi

Dinamik sürtünme ölçer test cihazı ile her bir numune üzerinde 4'er adet sürtünme deneyi yapılmıştır. Taçın yol üzerinde belli bir hızla ilerlerken güvenli bir şekilde durabilmesi için gerekli olan sürtünme değerinin belirlenmesine yarayan bu yöntemde, olumsuz koşulları temsil etmesi adına frenleme esnasında yol üzerine su verilmiştir. Çatnameye bağlı olarak 20km/saat hızdaki sürtünme değerleri belirlenmiştir.



Şekil 5.46 Dinamik sürtünme ölçer deneyinin uygulanması



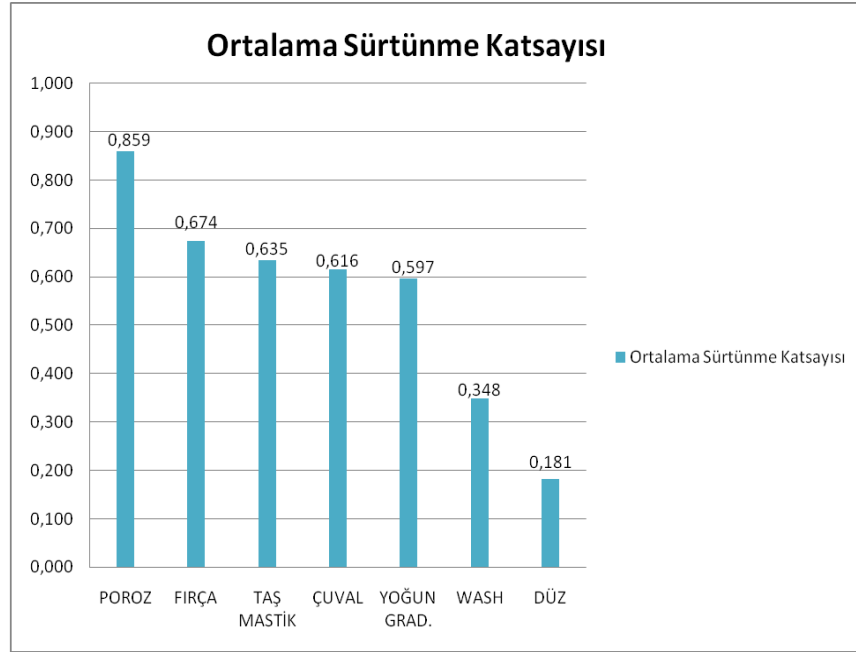


Şekil 5.47 Dinamik sürtünme ölçer test cihazının kauçuk pabuçlarının değiştirilmesi

Tablo 5.20 Dinamik sürtünme ölçer deneyi sonuçları

Numune Cinsi	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ortalama
<b>Poroz</b>	0,802	0,858	0,918	<b>0,859</b>
<b>Fırça</b>	0,685	0,679	0,658	<b>0,674</b>
<b>Taş mastik</b>	0,673	0,638	0,595	<b>0,635</b>
<b>Çuval</b>	0,652	0,606	0,59	<b>0,616</b>
<b>Yoğun Grad.</b>	0,603	0,596	0,593	<b>0,597</b>
<b>Wash</b>	0,341	0,363	0,34	<b>0,348</b>
<b>Düz</b>	0,184	0,176	0,183	<b>0,181</b>

Tablo 5.20 ve Şekil 5.48’de görüldüğü gibi, deneyler sonucunda en yüksek sürtünme değerine 0,859 değeri ile poroz asfalt numunesi, en düşük sürtünme değerine ise 0,181 değeri ile pürüzlendirilmemiş (düz) beton numunesi sahiptir. Poroz asfalt numunesinden sonra en yüksek sürtünme değerleri sırası ile fırça ile pürüzlendirilmiş beton numune (0,674), taş mastik asfalt numune (0,635), çuval ile pürüzlendirilmiş beton numune (0,616), yoğun gradasyonlu asfalt numune (0,597), yıkanmış (wash) beton numune (0,348) olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.48 Dinamik sürtünme ölçer deneyi sonuçlarının grafik üzerinde gösterimi

Sürtünme değerleri incelendiğinde, kum yama deneyinden elde edilen ortalama doku derinliği değerlerinin sıralamasına göre yıkanmış (wash) beton numune ile çuval ile pürüzlendirilmiş beton numunenin sıralamada yer değiştiği görülmektedir. Bu durumun sebebi, basınçlı su uygulanan yıkanmış (wash) beton numunesinin üzerindeki betonun ayrılması sonucu ortaya çıkan agregaların kayganlık göstermesi ve beton numunenin tutucu özelliğini yitirmesi olarak açıklanabilir.

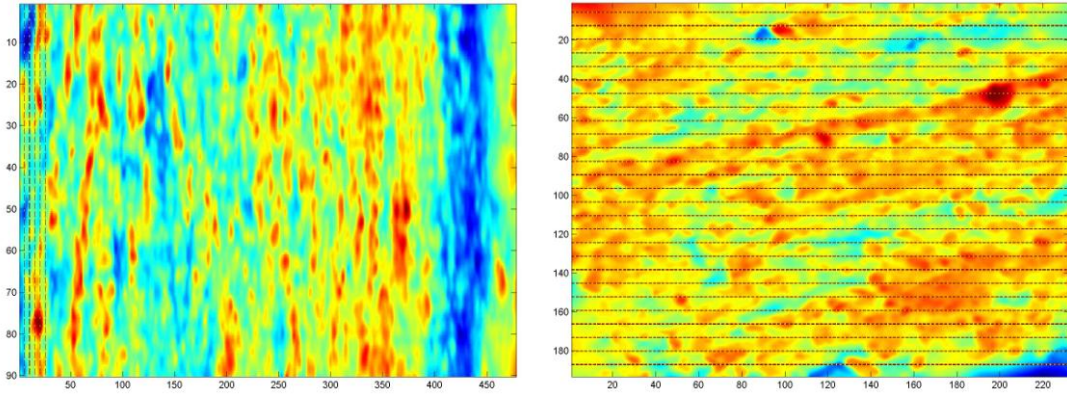
### 5.4.3 Lazer Tarama Yöntemi

Lazer ile yüzey tarama oldukça yeni ve teknolojik açıdan üstün bir yöntemdir. Hazırlanan beton plak numuneleri için 28 günlük standart kür içiminden sonra ve asfalt kaplama numuneleri üzerinde yüzey mikro ve makro dokusunu ifade eden Ortalama Profil Derinliği (MPD-Mean Profile Depth) değerlerinin elde edilmesi için lazer tarama yöntemi kullanılmıştır.

Her bir numune için 3'er adet ayrı kesitte lazer taraması yapılmış ve elde edilen profil derinliği değerlerinin ortalaması alınmıştır. Lazer taramaları sonucu elde edilen ortalama profil derinliği (MPD) değerleri şu şekildedir.



Şekil 5.49 Numunelere lazer taramanın uygulanması

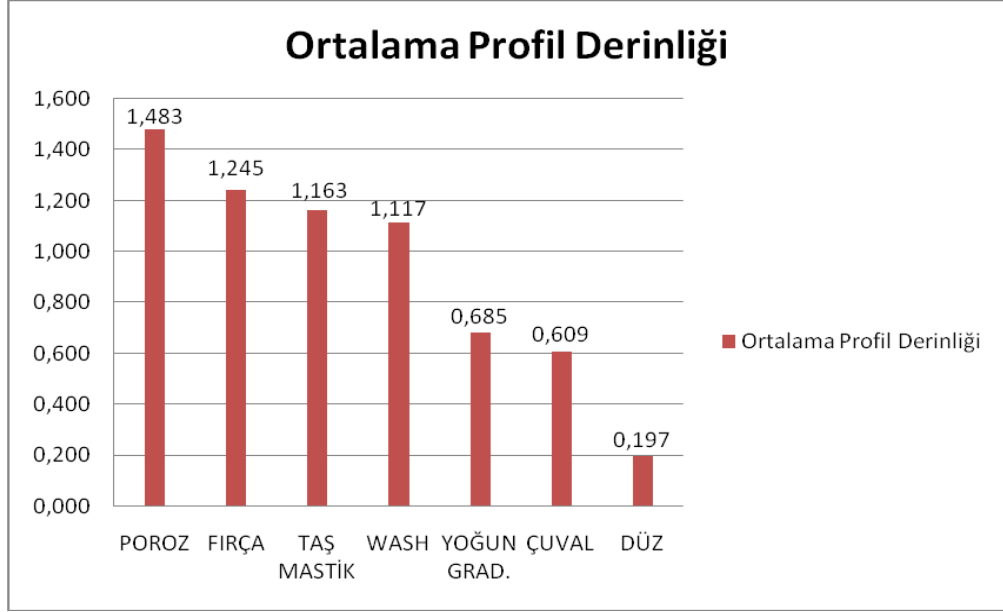


Şekil 5.50 Lazer incelemeleri sonucunda oluşan profil görüntüleri

Tablo 5.21 Lazer tarama deneyi sonuçları

	<b>Numune Cinsi</b>	<b>Ort. Profil Der. (mm)</b>
1	<b>POROZ</b>	1,483
2	<b>FIRÇA</b>	1,245
3	<b>TAŞ MASTİK</b>	1,163
4	<b>WASH</b>	1,117
5	<b>YOĞUN GRAD.</b>	0,685
6	<b>ÇUVAL</b>	0,609
7	<b>DÜZ</b>	0,197





ğekil 5.51 Lazer tarama deneyi sonunda belirlenen ortalama profil derinliklerinin grafik üzerinde gösterimi

Tablo 5.21 ve ğekil 5.51’de görüldüğü gibi, lazer tarama deneyleri sonucunda en yüksek ortalama profil derinliğine 1,483mm değeri ile poroz asfalt numunesi, en düşükortalama profil derinliğine ise 0,197 mm değeri ile pürüzlendirilmemiğ(düz) beton numunesi sahiptir. Poroz asfalt numunesinden sonra en yüksek ortalama profil derinliği değeri sırası ile fırça ile pürüzlendirilmigbeton numune (1,245 mm), tağ mastik asfalt numune (1,163 mm), yıkanmığ(wash) beton numune (1,117 mm), yoğun gradasyonlu asfalt numune (0,685 mm) ve çuval ile pürüzlendirilmigbeton numune (0,609 mm) olarak belirlenmiğtir.

Elde edilen bu değerler sonucunda, lazer tarama ile kum yama deneyi sonuçları birbirlerini doğrulamaktadır. Ortalama doku derinliği ve ortalama profil derinliği değerleri aynı sıralama ile çıkmığtr.

## BÖLÜM ALTI

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Esnek ve rijit kaplama temsili numuneler üzerine uygulanan deneylerin sonuçları Bölüm 5'te grafik ve tablolar ile açıklanmıştır. Elde edilen sonuçların yorumları ve öneriler şu şekilde sunulabilir.

- Rijit kaplama numuneleri arasında, en büyük ortalama doku derinliği ve ortalama profil derinliği değerini veren ve aynı zamanda en fazla sürtünme değerini veren numune, fırça ile pürüzlendirme yöntemi uygulanan numunedir. Fırça ile pürüzlendirmeden sonra sırası ile çuval ile pürüzlendirilen numune ve wash (yıkandı) beton numunesi gelmektedir. Beton yol uygulamalarında eski yöntemlerden olan çuval ile pürüzlendirmenin yerine günümüzde kullanılan fırça ile pürüzlendirme yöntemi daha uygundur. Ayrıca fırça ile pürüzlendirme yönteminin avantajlarından biri de yol tasarımında göz önüne alınan olumsuz trafik hacmi, iklim şartları vb. özelliklere göre fırçanın tutuş açısı ve uygulanan basınç değiştirilerek istenilen düzeyde pürüzlülük ve sürtünme değeri elde edilebilir.
- Pürüzlendirilmemiş (düz) beton numune için elde edilen değerler ışığında düz beton yüzeyi yeterli şartları sağlamadığından beton yollarda pürüzlendirme işleminin gerekliliği anlaşılmıştır.
- Ortalama profil derinliği ve ortalama doku derinliği açısından wash (yıkandı) beton numunesinin değerleri çuval ile pürüzlendirilen beton numunesine göre daha yüksektir. Fakat dinamik sürtünme ölçer analizleri incelendiğinde çuval ile pürüzlendirilmiş numunenin sürtünme katsayısı değeri, wash (yıkandı) beton numunesinin sürtünme katsayısı değerine göre daha yüksektir. Bunun sebebi wash (yıkandı) beton numunesi üzerine basınçlı su uygulandığında yüzeye çıkan agregaların araç lastiğini kaydırması olarak açıklanabilir. Çuval ile pürüzlendirilen beton numunede ise mikrodokunun önemi ortaya çıkmıştır.

- Esnek kaplama numuneleri arasında, en büyük ortalama doku derinliği ve ortalama profil derinliği değerini veren ve aynı zamanda en fazla sũrtũnme değerini veren numune, poroz asfalt numunesidir. Daha sonra sırası ile tağ mastik asfalt numunesi ve yoğun gradasyonlu asfalt numune gelmektedir. Farklı karığımtasarımı ile ũretilen bu ũç esnek kaplama numunelerinin analiz edilen tũm değerleri klasik esnek kaplamalara gũre daha yũksek değer vermektedir. Poroz asfaltın genel anlamda tasarım amacı yoğun yağığalan bũlgelerde suyun kolayca drene olmasını sağlamaktır. Bu ũzelliđi sağlayabilmesi adına tasarım sırasında elde edilen agrega gradasyonu, yapısı gereği gerekli sũrtũnme değerini de sağlamaktadır. ũlkemizde poroz asfalt uygulamaları yok denecek kadar azdır. Poroz asfalt ile ilgili gerekli dũzenlemeler yapılmalı, gerekli đatnameler hazırlanmalı ve gerekli performans analizleri ile bir standart haline getirilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Ağar, E., Sütüç, Ç ve Öztüç, G. (1998). *Beton Yollar*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1976). *Guidelines for Skid-Resistant Pavement Design, Task Force for Pavement Design*. Washington.
- Andresen, A. ve Wambold, J.C. (1999). *Friction Fundamentals, Concepts and Methodology*, Canada: Transportation Development Centre.
- ASTM E 1845-01 (2003). *Standard Practice for Calculating Pavement Macro-Texture Mean Profile Depth*. Volume 04.03, ASTM, West Conshohocken, Pennsylvania.
- Avcı, E. (2009). *Sıcak İklimli Bölgelerde Kullanılan Asfalt Betonu Karışım Değişkenlerinin Kaplama Tabakası Performansına Etkisi*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Dündar, G. (1998). *Esnek Üstyapı Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırılması*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Ecevit, O. (2007). *Karayollarında Rijit Üstyapı Uygulamaları Ve Tasarımı*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Flintsch, G.W., Al-Qadi, I.L., Davis, R. ve McGhee, K.K. (2002). *Effect of Hot Mix Asphalt Properties on Pavement Surface Characteristics*. Roanoke, Virginia: Proceedings of the Pavement Evaluation Conference.
- Fuentes, L. ve Gunaratne M. (2010). *Factors Influencing Frictional Measurement Using DFT*. TRB.

- Giriş,Ü. (2007). *Esnek Üstyapılar İle Rijit Üstyapıları Teknik Ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması*. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Henry, J.J. (2000). *Evaluation of Pavement Friction Characteristics*. Washington: National Cooperative Highway Research Program (NCHRP).
- Ilıcalı, M., Tayfur, S. , Özen, H. , Sönmez, G ve Eren, K. (2001). *Asfalt ve Uygulamaları*. İstanbul: Ğfalt A.ğ.
- Kanböre, Y. ve Erdinç, C. (1998). *Geçirimli Asfalt Kaplama*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bitirme Projesi, Ğmir.
- Karpuz, O. (2008). *Beton Yol Karışımındaki İnce Agreganın Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Meyer, W.E. (1982). *Synthesis of Frictional Requirements Research*. Washington: Federal Highway Administration (FHWA), Report No. FHWA/RD-81/159.
- Rado, Z., Yager, T.J., Wambold, J.C., Hall, J.W. (2006). *Guide for Pavement Friction*, Final Report Preraped for NCHRP, Project No: 1-43.
- Sandburg, U. and Ejsmont, J.A. (2002). *Tyre/Road Noise Reference Book*. ISBN 91-631-2610-9, Informex, Kisa, Sweden.
- Topal, A., Yamanlar, Ç., Dokandari, P., Oylumluoğlu, J., Cinbağ, B. ve Onori, A. (2011). *Beton Yolların Yüzey Doku Özelliklerinin İncelenmesi*. İstanbul: THBB Beton kongresi, Sayfa 201-212.
- Uluçaylı, M. (Basılmamış). *Poroz Asfalt*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Highway Materials Ders Notları, Ğmir.

Uluçaylı, M. (Basılmamış). *Taş Mastik Asfalt*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Highway Materials Ders Notları, İzmir.

Umar, F. ve Ağar, E. (1991). *Yol Üstyapısı*, (4. Baskı). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.

Wallman, C.G. ve Astrom, H. (2001). *Friction Measurement Methods and the Correlation Between Road Friction and Traffic Safety*. Swedish National Road and Transport Research Institute, VTI Meddelande 911A, Linkoping, Sweden.