

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETON YOLLARDAKİ FARKLI YÜZEY TİPLERİNİN
GÜRÜLTÜ DÜZEYİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müslüm BOZTEPE

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Ulaştırma Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETON YOLLARDAKİ FARKLI YÜZEY TİPLERİNİN
GÜRÜLTÜ DÜZEYİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müslüm BOZTEPE
501091445**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2011

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Murat ERGÜN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Şükriye İYİNAM (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY (YTÜ)**

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında bana verdiği destek ve yardımlarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Murat ERGÜN'e, hayatım boyunca her zaman yardım ve destekleriyle yanımda olan annem Elife BOZTEPE ile babam Recep BOZTEPE'ye ve yüksek lisans eğitimim süresince verdiği burs ile maddi desteğini esirgemeyen TÜBİTAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2011

Müslüm BOZTEPE

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. KARAYOLU ÜSTYAPILARI.....	5
2.1. Karayolu Üstyapısı Tipleri	5
2.1.1. Esnek üstyapılar	5
2.1.2. Rijit üstyapılar	5
2.1.3. Kompozit üstyapılar	6
2.2. Üstyapı Tipi Seçim Ölçütleri.....	6
2.2.1. Üstyapı tipi seçiminde teknik ölçütler	7
2.2.1.1. Dıştan gelen yüklerin taban zeminine iletilmesi	7
2.2.1.2. Malzeme	7
2.2.1.3. Trafik	8
2.2.1.4. Trafiğin engellenmesi.....	8
2.2.1.5. İklim	9
2.2.2. Üstyapı tipi seçiminde ekonomik ölçütler	10
2.2.2.1. Toplam ekonomik maliyet	10
İlk yapım maliyeti	10
Bakım maliyeti	10
2.2.2.2. Yolu kullananların harcamaları	11
2.2.2.3. Finansman kaynakları ve iskonto oranı.....	11
2.2.2.4. Enerji tüketimi.....	12
3. BETON YOLLAR.....	13
3.1. Beton Yolların Tarihçesi	13
3.2. Beton Yol Elemanları.....	14
3.2.1. Taban zemini	14
3.2.1.1. Zemin şişmesi	16
3.2.1.2. Don etkisi	17
3.2.1.3. Pompaj	20
3.2.2. Alttemel – kaplama altı tabakası	21
3.2.2.1. Stabilize olmayan alttemeller	22
3.2.2.2. Stabilize alttemeller.....	22
3.2.3. Beton plak	22
3.2.4. Çelik donatı	23
3.2.5. Derzler.....	23
3.2.5.1. Enine derzler	24

Yalancı (yarım) derzler	25
Dilatasyon (genleşme) derzleri	25
İnşaat derzleri	26
3.2.5.2. Boyuna derzler	26
3.3. Beton Yollarda Kullanılan Malzemeler	26
3.3.1. Beton	27
3.3.1.1. Çimento	27
Puzolanlar	28
Çimentoların özellikleri	31
3.3.1.2. Agrega	34
Agrega özellikleri	35
3.3.1.3. Su	38
3.3.1.4. Katkı maddeleri	39
3.3.2. Donatı	39
3.3.3. Kür malzemeleri	40
3.3.4. Derz dolgu malzemeleri	41
3.3.4.1. Alt dolgu malzemesi	41
3.3.4.2. Üst dolgu malzemesi	41
3.4. Beton Kaplama Türleri	41
3.4.1. Derzli donatısız beton kaplamalar	42
3.4.2. Derzli donatılı beton kaplamalar	43
3.4.3. Sürekli donatılı beton kaplamalar	44
3.5. Ülkemiz Karayollarında Beton Yol Uygulamaları	45
3.5.1. Ülkemizdeki beton yollar	51
3.5.1.1. Afyonkarahisar'daki beton yol	51
3.5.1.2. İstanbul'daki beton yol	52
3.6. Beton Yolların Üstünlükleri	53
4. YOL YÜZEY ÖZELLİKLERİ ve ETKİLERİ	61
4.1. Yol Yüzey Dokusu	62
4.1.1. Mikrodoku	62
4.1.2. Makrodoku	62
4.1.3. Megadoku	63
4.2. Geometrik Düzgünlük	63
4.3. Beton Yol Yüzey Özelliklerinin Yolun Performansına Etkileri	64
4.3.1. Güvenlik	64
4.3.1.1. Kayma direnci	64
4.3.1.2. Yol tutuşu	65
4.3.1.3. Su sıçratma	65
4.3.1.4. Optik özellikler	65
4.3.2. Ekonomi	66
4.3.2.1. Dinamik yükler	66
4.3.2.2. Taşıt yıpranması	66
4.3.2.3. Yakıt tüketimi	67
4.3.3. Konfor ve çevre	67
4.3.3.1. Konfor	67
4.3.3.2. Çevre	67
Trafik gürültüsü	67
Taşıt içindeki gürültü	68
4.4. Yüzey Dokusu Ölçüm Yöntemleri	69
4.4.1. Kum yama yöntemi	69

4.4.2. Akış ölçme yöntemi	70
4.4.3. Robotlu doku ölçüm yöntemi	71
5. GÜRÜLTÜ	73
5.1. Ses	74
5.1.1. Ses basıncı	74
5.1.2. Ses basınç düzeyi	74
5.1.3. Ses gücü	76
5.1.4. Ses frekansı	77
5.1.4.1. Eşdeğer gürültü eğrileri	78
5.1.4.2. A ağırlıklı filtre ve dB(A) kavramı	79
5.1.4.3. Farklı ses düzeylerinin tanımı	80
5.2. Karayolu Trafik Gürültüsü	80
5.3. Tekerlek Lastiği ile Kaplama Arasında Meydana Gelen Gürültü	82
5.3.1. Tekerlek lastiği-kaplama gürültüsü oluşum mekanizmaları	82
5.3.2. Tekerlek lastiği-kaplama gürültüsü amplifikasyon mekanizmaları	84
5.4. Tekerlek Lastiği-Kaplama Gürültüsünü Etkileyen Kaplama Özellikleri	86
5.5. Karayolu Trafik Gürültüsü Ölçüm Yöntemleri	88
5.5.1. Karayolu kenarında yapılan ölçümler	88
5.5.1.1. Kontrollü geçiş yöntemi	88
5.5.1.2. İstatistiksel geçiş yöntemi	89
5.5.2. Araç üzerinde yapılan ölçümler	89
5.5.2.1. Kapalı yakınlık yöntemi	89
5.5.2.2. Araca monteli ses şiddeti ölçme yöntemi	90
6. BETON YOLLARDAKİ FARKLI YÜZEY TİPLERİNİN GÜRÜLTÜ DÜZEYİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ	93
6.1. Sürüklenme Yöntemleri ile Oluşturulmuş Beton Yol Yüzeyleri	93
6.2. Yüzeyde İnce Kanallar Açma Yöntemi ile Oluşturulmuş Beton Yol Yüzeyleri	96
6.2.1. Yüzeyde enine doğrultuda ince kanallar açma yöntemi	97
6.2.2. Yüzeyde boyuna doğrultuda ince kanallar açma yöntemi	98
6.3. Aşındırma Yöntemi ile Oluşturulmuş Beton Yol Yüzeyleri	100
6.4. Yivlendirme Yöntemi ile Oluşturulmuş Beton Yol Yüzeyleri	102
6.5. Soyulmuş Agregalı Beton Yol Yüzeyleri	105
6.6. Geçirimli Beton Yol Yüzeyleri	107
6.7. Farklı Beton Yol Yüzeylerinin Değerlendirilmesi	109
7. SONUÇ	113
KAYNAKLAR	117
ÖZGEÇMİŞ	121

KISALTMALAR

BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
M.Ö.	: Milattan Önce
ASTM	: American Society for Testing and Materials
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
FHWA	: Federal Highway Administration
TÇMB	: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
PIARC	: Permanent International Association of Road Congresses
SBD	: Ses Basınç Düzeyi
OBSI	: On-Board Sound Intensity

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Teknik parametrelere göre üstyapı seçimi.....	9
Çizelge 2.2 : Ekonomik parametrelere göre üstyapı seçimi	12
Çizelge 3.1 : Portland çimentosu sınıflandırması (ASTM C150/AASHTO M85).....	28
Çizelge 3.2 : Tip I çimentosunun ve bazı puzolanların kimyasal bileşim ve seçilen bazı özellik değerleri.....	32
Çizelge 3.3 : Puzolanların taze beton özellikleri üzerindeki etkisi.....	33
Çizelge 3.4 : Puzolanların sertleşmiş beton özellikleri üzerindeki etkisi	33
Çizelge 3.5 : Ülkemizde ulaşım sektöründe yurtiçi taşımalarının sistemlere ve yıllara göre yüzdesel dağılımı.....	46
Çizelge 3.6 : Ülkemizde karayolu ağının sınıflara ve yıllara göre uzunluğu	47
Çizelge 3.7 : Bazı ülkelerin karayolu ağının sınıflara göre dağılımı	48
Çizelge 3.8 : Ülkemizde yüzey cinsine göre karayolu ağı durumu (2007)	48
Çizelge 6.1 : Farklı pürüzlendirme yöntemi ve kaplama durumları için kaza oranları.....	102
Çizelge 6.2 : Farklı beton yol yüzeylerinin yüzey dokusu ve yol performans ölçütleri açısından derecelendirilmesi	110

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Yol üstyapısı tip enkesitleri.....	6
Şekil 2.2 : Esnek ve rijit üstyapılarda yük tepkisi ve gerilme dağılımı	7
Şekil 3.1 : Genel olarak beton yol elemanları.....	14
Şekil 3.2 : Üniform olmayan zeminlerin beton plaklar üzerindeki etkisi.....	15
Şekil 3.3 : Uygulanan yükler ve çevresel yükler etkisinde zeminin etkisi; beton bir kaplama için en iyi zemin durumu iki durumun arasında olmalıdır	17
Şekil 3.4 : Don kabarmasına sebep olan buz merceğinin oluşumu	19
Şekil 3.5 : Pompaj mekanizması.....	20
Şekil 3.6 : Pompaj olayı görüntüsü (üstte) ve bankette pompajdan kaynaklanan lekeler (altta)	21
Şekil 3.7 : Beton yolun en üst tabakası olan beton plak	23
Şekil 3.8 : Derz türleri	24
Şekil 3.9 : Hacim yüzdelerine göre en temel beton bileşenleri	27
Şekil 3.10 : Kırmataş agrega (solda) köşeli şekilli ve nehir yatağından elde edilen agrega (sağda) daha küresel şekilli.....	35
Şekil 3.11 : Beton yüzeyindeki bir açılma.....	37
Şekil 3.12 : D-çatlakları.....	38
Şekil 3.13 : Derzli donatısız beton kaplamaya ait plan (üstte) ve kesit (altta) görüntüsü.....	42
Şekil 3.14 : Derzli donatılı beton kaplamaya ait plan (üstte) ve kesit (altta) görüntüsü	43
Şekil 3.15 : Sürekli donatılı beton kaplamaya ait plan (üstte) ve kesit (altta) görüntüsü.....	44
Şekil 3.16 : 50 yıl hizmet verdikten sonra 2003 yılında yeniden yapılan Avusturya'daki beton kaplamalı A1 otoyolu	49
Şekil 3.17 : Belçika'nın 1925 yılında yapılan ilk beton yolu 78 yıl hizmet vermiştir.....	50
Şekil 3.18 : Afyonkarahisar'daki beton yolun tamamlandıktan sonraki görüntüsü ..	52
Şekil 3.19 : İstanbul'daki beton yolun trafik çizgileri çizilmiş (üstte), İstanbul'daki beton yol hizmete giriyor (altta).....	53
Şekil 3.20 : Sürekli donatılı beton ve asfalt betonu kaplamalı yolların ilk yapım ve bakım maliyetlerini gösteren grafik	57
Şekil 3.21 : Brezilya'daki bir karayolu, beton (solda) ile asfalt betonu kaplamanın albedo farklılığını göstermektedir	58
Şekil 3.22 : Arizona-Mesa'daki bir yolun termal görüntüsü, arka plandaki asfalt betonu kaplama ile ön plandaki beton kaplama arasındaki sıcaklık farkı dikkat çekicidir	59
Şekil 3.23 : Silindirle sıkıştırılan beton yol temelinde ve yeni beton kaplamada agrega olarak kullanılmaya yönelik eski beton yolun geri dönüşümü ...	60
Şekil 4.1 : Makrodoku, megadoku ve geometrik düzgünlük.....	61
Şekil 4.2 : Yol yüzey özelliklerinden makrodoku ve mikrodoku.....	63

Şekil 4.3 : Değişik yol yüzeylerinde 20 ve 80 km/sa hız değerlerinde ölçülen kayma direnci değerleri farkının yol yüzeyi dalga boyu ile ilişkisi	64
Şekil 4.4 : Eşdüzey eğrileri, tekerlek lastiğinin yol yüzeyi ile teması sonucu oluşan gürültü ile yol yüzey profilinin dalga boyu ilişkisi	68
Şekil 4.5 : PIARC yol yüzey özelliklerinin sınıflandırılması ve yol performansı üzerindeki etkileri.....	69
Şekil 4.6 : Ottawa kumu kullanılarak yapılmış kum yama yöntemi	70
Şekil 4.7 : Akış ölçme yönteminin uygulanması	70
Şekil 4.8 : Robotex doku ölçüm cihazı	71
Şekil 5.1 : Ses basıncı ve ses basınç düzeyi arasındaki ilişki.....	75
Şekil 5.2 : Ses basınç düzeyi ve ses basıncının karşılaştırılması ve yaygın örnekler.....	75
Şekil 5.3 : Ses gücü ve ses güç düzeyleri arasındaki ilişki	76
Şekil 5.4 : Birbirinden bağımsız ses kaynaklarının ses düzeylerinin oluşturduğu toplam ses düzeyi.....	77
Şekil 5.5 : İki basit ses dalga formu ve frekanslarının toplamı.....	78
Şekil 5.6 : Eşdeğer gürültü eğrileri	78
Şekil 5.7 : Ses ölçümleri için standartlaştırılmış farklı, frekans ağırlıklı eğriler	79
Şekil 5.8 : Değişik ses düzeylerinin tanımı.....	80
Şekil 5.9 : Değişik kaynak tiplerine ve mesafeye göre ses düzeyleri	82
Şekil 5.10 : Lastik dişi darbesi şeklinde ses oluşum mekanizması.....	83
Şekil 5.11 : Hava pompalanması şeklinde ses oluşum mekanizması	83
Şekil 5.12 : Yapışma-kayma etkisi şeklinde ses oluşum mekanizması	84
Şekil 5.13 : Yapışma-ayrılma etkisi şeklinde ses oluşum mekanizması.....	84
Şekil 5.14 : Korna amplifikasyon mekanizması	85
Şekil 5.15 : Borulu org amplifikasyon mekanizması.....	85
Şekil 5.16 : Tekerlek lastiği ile kaplama arasında oluşan gürültünün gelişimi	86
Şekil 5.17 : Gürültü seviyesi düşük bir kaplama için iyi ve kötü doku tanımı	87
Şekil 5.18 : Yol kenarı ölçüm metodu bileşenleri	88
Şekil 5.19 : Kapalı yakınlık (solda) ve araç üzerinde ses şiddeti ölçme (sağda) yöntemi test ekipmanları	90
Şekil 5.20 : Tekerlek lastiği-kaplama test ekipmanı ve örnek bir kaplama yüzeyi ...	91
Şekil 6.1 : Suni çim halı ile yüzey pürüzlendirilmesi (solda) ve suni çim halı ile pürüzlendirilmiş beton yol yüzeyinin görüntüsü (sağda).....	94
Şekil 6.2 : Çuval bezi ile yüzey pürüzlendirilmesi (solda) ve çuval bezi ile pürüzlendirilmiş beton yol yüzeyinin görüntüsü (sağda)	94
Şekil 6.3 : Afyonkarahisar’da yapılan beton yolun yüzeyinin enine yönde fırça sürüklenmesi yöntemi ile pürüzlendirilmesi	94
Şekil 6.4 : Sürüklenme yöntemi ile elde edilmiş beton yol yüzeylerinde araca monteli ses şiddeti ölçme yöntemi ile elde edilmiş gürültü sonuçları	96
Şekil 6.5 : Yüzeyde ince kanallar açma yönteminin uygulanışı	96
Şekil 6.6 : Enine doğrultuda ince kanallar açma yönteminin üniform (solda) ve rasgele (sağda) aralıklarda uygulanmasıyla pürüzlendirilmiş beton yol yüzeyinin görüntüsü	97
Şekil 6.7 : Enine doğrultuda ince kanallar açma yöntemi ile elde edilmiş beton yol yüzeylerinde araca monteli ses şiddeti ölçme yöntemi ile elde edilmiş gürültü sonuçları.....	98
Şekil 6.8 : Boyuna doğrultuda ince kanallar açma yönteminin uygulanmasıyla elde edilmiş beton yol yüzeyi	98

Şekil 6.9 : Boyuna doğrultuda ince kanallar açma yöntemi ile elde edilmiş beton yol yüzeylerinde OBSI yöntemi ile elde edilmiş gürültü sonuçları	99
Şekil 6.10 : Aşındırma yönteminde kullanılan elmaslı testere ağzları (sağda) ve bu ağzların yerleştirildiği ekipman (solda)	100
Şekil 6.11 : Aşındırma yöntemi ile elde edilmiş beton yol yüzeylerinde araca monteli ses şiddeti ölçme yöntemi ile elde edilmiş gürültü sonuçları.....	101
Şekil 6.12 : Boyuna doğrultuda uygulanmış yivlendirme yöntemi ile elde edilmiş beton yol yüzeyleri	102
Şekil 6.13 : Aşındırma (üstte) ve yivlendirme (altta) yöntemleri.....	103
Şekil 6.14 : Farklı yöntemlerle pürüzlendirilmiş çeşitli beton yol test kesitlerinde araca monteli ses şiddeti (OBSI) ölçme yöntemi ile elde edilmiş gürültü sonuçları	104
Şekil 6.15 : Yüzeydeki harcın yıkanarak çıkarılması (solda) ve elde edilmiş soyulmuş agregalı beton yol yüzeyi	106
Şekil 6.16 : Su akışını sağlayan geçirimli beton (solda) ve tıkanma problemini azaltan çift tabakalı geçirimli beton kaplama (sağda).....	108
Şekil 6.17 : Avrupa’da farklı beton yol yüzeylerinde araca monteli ses şiddeti ölçme yöntemi ile 96 km/sa hızda elde edilmiş gürültü sonuçları.....	111

BETON YOLLARDAKİ FARKLI YÜZEY TİPLERİNİN GÜRÜLTÜ DÜZEYİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

İnsanların en temel ihtiyaçlarından biri olan ulaşım günümüzde birçok şekilde sağlanabilmekle birlikte, ülkemizde gerek yolcu taşımacılığı gerekse yük taşımacılığı açısından en çok kullanılan sistem karayoludur.

Gelişen dünyada çevresel sorunlara bakıldığında, gürültü kirliliği son yıllarda önemli bir problem haline gelmiştir. Karayolu taşımacılığının yaygın olması nedeniyle, ülkemizde ulaşım kaynaklı gürültüye bakıldığında, şüphesiz karayolu trafik gürültüsü ön plana çıkmaktadır. Karayolu trafik gürültüsünün birçok kaynağı olmasına rağmen, tekerlek lastiği ile kaplama arasında meydana gelen gürültü, karayolu trafik gürültüsünün ana kaynağı olmaktadır. Tekerlek lastiği ile kaplama arasında meydana gelen gürültü de yol yüzey özelliklerine bağlı olmaktadır.

Beton yollarda, betonun yola serilmesinden sonra, beton yol yüzeyi çeşitli yöntemlerle pürüzlendirilmekte, böylece farklı yüzey tipleri oluşturulmaktadır. Farklı pürüzlendirme tekniklerinin yanı sıra, geçirimli ve soyulmuş agregalı beton yol yüzeyleri gibi, farklı yapım teknikleriyle oluşturulan beton yol yüzeyleri de mevcuttur. Bu çalışmanın amacı, farklı pürüzlendirme teknikleri ve farklı yapım teknikleriyle oluşturulmuş beton yol yüzeylerinin ve oluşturulan bu yüzeylerin özelliklerinin gürültü düzeyi üzerindeki etkisinin incelenmesidir.

Çalışmanın birinci bölümünde, çalışmanın amacı ve çalışma hakkında genel bir bilgi verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde, karayolu üstyapıları ve üstyapı seçiminde değerlendirilmesi gereken konular hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde, beton yollar hakkında genel bilgilere yer verilerek, beton yol tipleri anlatılmış, ülkemizdeki ve dünyadaki karayolu ağ uzunluklarına ve beton yol uygulamalarına yer verilerek, beton yolların üstünlüklerine değinilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, yol yüzey özellikleri ile etkileri hakkında bilgi verilmiş, beşinci bölümde gürültü konusuna kapsamlı bir şekilde değinilerek, tekerlek lastiği ile kaplama arasında meydana gelen gürültünün oluşumu anlatılmıştır. Çalışmanın altıncı bölümünde, farklı beton yol yüzey tipleri ve bu yüzeylerdeki gürültü seviyeleri hakkında bilgi verilerek, yöntemler arasında genel bir değerlendirme yapılmıştır. Çalışmanın sonuç bölümünde, elde edilen bilgiler ışığında, bütün yüzey tipleri çeşitli açılardan karşılaştırılmış ve ülkemizde de artık beton yol uzunluğunun artmasının gerekliliği ve yapılacak yeni beton yollarda uygulanabilecek yöntemler vurgulanmıştır.

EXAMINATION OF EFFECT OF DIFFERENT CEMENT CONCRETE ROAD SURFACE TYPES ON NOISE LEVEL

SUMMARY

Although transportation, which is one of the people's most basic needs, is can be provided in many ways in our day, the most used system is highway in our country in terms of both passenger and good transportation.

Considering environmental issues in developing world, noise pollution has become an important problem in recent years. Because of highway transportation is common, highway traffic noise has come into prominence surely in our country considering noise originating from transportation. Although highway traffic noise is generated by many sources, tire-pavement noise is the main source of highway traffic noise. Tire-pavement noise is mainly depends on surface characteristics of the road.

After concrete has been placed, cement concrete road surface is textured with various methods so that different surface types has been constituted. In addition to various texturing methods, there are different cement concrete road surfaces that constituted with different construction techniques like pervious cement concrete road and exposed aggregate concrete road. The main aim of this study is to examine different road surfaces which constituted with different texturing methods and construction techniques and effect of these surface characteristics on noise level.

In the first part of the study, aim of the study and general information about the study are given. In the second section of the study, highway pavements and parameters that must be considered at pavement type selection are detailed. In the third one, general informations about cement concrete roads and cement concrete road applications and length of highway network in the world and in our country are explained.

In the fourth part of the study, road surface characteristics and effects are mentioned and in the fifth one, noise and tire-pavement noise generation is explained in detail. In the sixth chapter of the study, different surface of cement concrete roads and noise levels on these surfaces are explained and a general assessment between these surfaces has been made. In the last part of the study, in the view of such informations all of surface types are compared with many aspects. As a result, it is underlined that cement concrete road lenght in our country must increase and methods can be applied on cement concrete roads which will be constructed in future in our country.

1. GİRİŞ

Tarihin ilk dönemlerinde tekerleğin bulunmasıyla başlayıp günümüze uzanan süreçte ulaşım, insanların en temel ihtiyaçlarından biri haline gelmiştir. Kişilerin ve eşyaların bir noktadan başka bir noktaya hareketi olarak tanımlanan ulaşım, günümüzde karayolları, demiryolları, denizyolları, boru hatları ve havayolları gibi alt sistemlerle sağlanmaktadır. Ulaşım faaliyetlerinin tarihsel sürecinde, farklı dönemlerde farklı ulaştırma alt sistemlerinin ön plana çıktığı görülmektedir. 18. yüzyıla kadar denizyolu ve iç su yolu taşımacılığı ön plandayken, 18. ve 19. yüzyılda sanayi devriminin gerçekleşmesi ve buharlı motorların icat edilmesiyle birlikte, demiryolu taşımacılığı hakim sistem olmuştur. Karayolu taşımacılığı ise, 20. yüzyılda ön plana çıkmış, İkinci Dünya Savaşı sonrası hızlı bir şekilde artış eğilimine girmiş ve diğer ulaşım sistemleriyle rekabet edebilir hale gelmiştir. 1970'li yıllarda yaşanan enerji krizinin aşılmasından sonra, 1980'li yıllarda karayolu ile taşımacılık artan eğilimini sürdürmüş ve 2000'li yıllarda pek çok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkede, karayolu hakim ulaşım sistemi haline gelmiştir. Ülkemizde mevcut durum itibarıyla, yolcu taşımacılığının % 95'i, yük taşımacılığının ise % 92'si karayoluyla gerçekleştirilmektedir [1].

Karayolu üstyapıları, taban zemini üzerine birkaç tabaka halinde yapılan, trafik yüklerini taban zeminine ileten ve çevresel etkilere karşı da dayanıklı olan yapılardır. Karayolu üstyapıları, kaplama tabakasında kullanılan bağlayıcı malzemesine göre, esnek ve rijit üstyapı şeklinde sınıflandırılmaktadır. Kaplama tabakasında bağlayıcı malzeme olarak asfalt (bitüm) kullanılan üstyapılar, esnek üstyapılar olarak tanımlanmaktadır. Karayollarında, esnek üstyapı kaplamalarında asfalt, sathi (yüzeysel) kaplamada ve asfalt betonu kaplamada bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Sathi kaplama uygulamalarında asfalt üzerine serilen agrega, silindir ile sıkıştırılarak ince bir tabaka elde edilmektedir. Asfalt betonu kaplamalarda ise, plentte ince ve iri agreganın bitümle karıştırılmasıyla elde edilen bitümlü sıcak karışım (BSK), binder ve aşınma tabakaları şeklinde uygulanarak, sathi kaplamaya göre, daha kalın bir kaplama tabakası elde edilmektedir. Rijit üstyapılarda (beton kaplama) ise, kaplama tabakasında bağlayıcı olarak kullanılan malzeme çimentodur. Beton kaplamalarda,

Üretilen beton, yola serilerek sıkıştırılır ve betonun gerekli dayanımını kazanması için kr uygulanır. Ülkemiz karayollarında beton yol yok denecek kadar az olmakla birlikte, asfalt betonu ve sathi kaplamalı yollar, karayolu ağıımızın büyük bir kısmını oluşturmaktadır.

Beton yol uygulamalarının tarihi 19. yüzyıla kadar uzanmakta iken, endüstriyel anlamda beton yol projelendirme ve inşaat işlerinin Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde ancak 20. yüzyılın başlarında başladığı görülmektedir. Özellikle, birçok Avrupa lkesi için ithal bir ürün olan bitümün savaş yıllarında temininde karşılaşılan zorluklar ve Avrupa kıtasının hemen her yerinde var olan çimentonun yaygın olması, beton yolların promosyonunu da beraberinde getirmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde 1960 ve 1970'li yıllarda yapılan yaklaşık 70 bin km'lik beton yol ile bu ülkede beton yol yaygınlaşmaya başlamış ve bu uygulamaları Avrupa lkeleri ve Japonya'daki örnekleri takip etmiştir. Beton yolların, yerli ham madde kullanımı, dışarıya bağlı olmama gibi stratejik öneminin yanı sıra uzun yapısal ömürleri, özellikle ülkemiz gibi ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu bölgelerde başarılı ve ekonomik bir çözüm olması, yol tutuş ve görüş emniyeti ile akaryakıt tasarrufu sağlaması gibi avantajları sayesinde tüm dünyada önemi giderek artmaktadır. Gerek teknik bilgi eksikliği, gerekse eski alışkanlıkların yarattığı n yargı ile uzun süredir beton yola başlamakta geciken birçok ülke, bugün artan petrol fiyatlarını ve düşük beton maliyetini dikkate alarak beton yol uygulamalarını teşvik etmeye başlamışlardır. Bunun en güzel örneklerinden biri halen Hindistan'da görülmektedir. Bu lke, kuzey-güney, batı-doğu otoyol geçişlerinin beton yol olarak yapılmasını kararlaştırırken, beton yolun gerek ilk yapım maliyeti, gerekse ömür döngü maliyeti açısından ucuzluğunu özellikle dikkate almıştır [2].

Karayollarında kaplama tabakası, üstyapının en üst bölümünü oluşturan ve tekerlek ile temas halinde olan tabakadır. Bu nedenle, kaplama tabakasının yüzey özellikleri, yol performansı açısından büyük önem taşımaktadır. Güvenlik, sürüş konforu ve evre kirliliği gibi faktörler yol yüzey özelliklerine doğrudan bağlı olmaktadır. Beton yollarda, betonun yola serilmesinden sonra, beton yol yüzeyinin, gerekli yüzey özelliklerinin elde edilmesi amacıyla farklı tekniklerle pürüzlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, son yıllarda önemli bir sorun haline gelen karayolu trafik gürültüsünün ana kaynağı olan, tekerlek lastiği ile kaplama arasında meydana gelen

gürültünün, farklı beton yol yüzeylerinde ne şekilde değiştiği incelenmiştir. Farklı yüzey pürüzlendirme teknikleri ve farklı yapım teknikleriyle oluşturulan beton yol yüzeyleri, farklı yüzey özelliklerine sahip olduklarından, meydana gelen gürültü de farklı seviyelerde olmaktadır. Çalışmada farklı yüzey tiplerinde gürültü değişiminin yanı sıra, üstyapı tipleri, üstyapı tipi seçiminde değerlendirilmesi gereken konular, beton yollar hakkında genel bilgiler, beton yolların ülkemizde ve dünyadaki uygulamaları, beton yolların avantajları, gürültü konuları da ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

2. KARAYOLU ÜSTYAPILARI

2.1. Karayolu Üstyapısı Tipleri

Karayolu üstyapıları trafik yüklerini zemine ileten ve çevre etkilerine karşı dayanıklı olan mühendislik yapılarıdır. Üst kaplama tabakası trafikte sürüş güvenliğini ve konforunu sağlayacak yüzeyi oluşturmaktadır. Üstyapı, trafik yükü ve çevre koşullarına doğrudan maruz kaldığından, yeterli dayanım ve dayanıklılıkta olması gerekmektedir [3].

Karayolu üstyapıları genel olarak esnek, rijit ve kompozit olmak üzere 3 kısma ayrılır.

2.1.1. Esnek üstyapılar

Esnek üstyapılar genel bir ifadeyle, sıkıştırılmış doğal zemin tarafından desteklenen temel-alttemel tabakaları üzerine yerleştirilen asfalt betonu kaplama tabakasından oluşmaktadır [4].

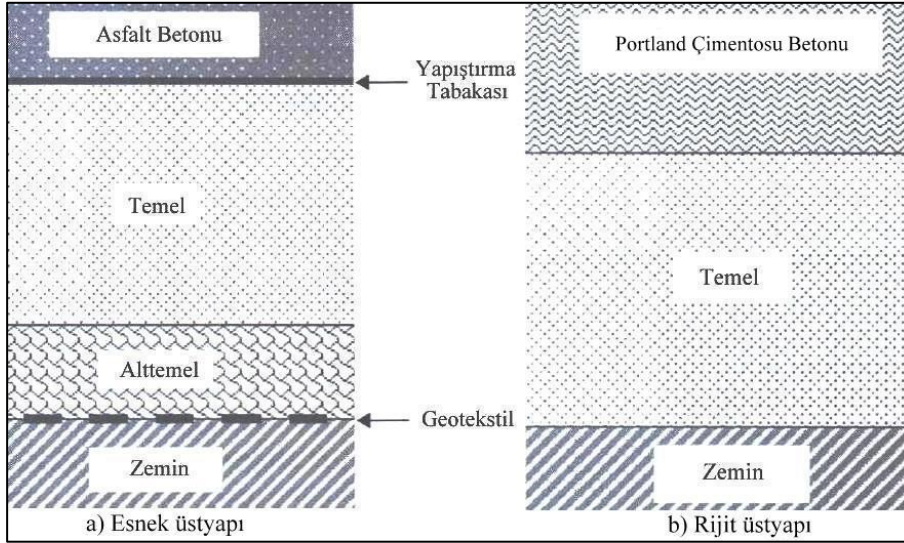
Esnek üstyapılar, şantiyede hazırlanan bitümlü sıcak karışım (BSK) ile aşınma ve binder tabakaları olarak uygulanır. Düşük standartlı yollarda ise, sathi kaplama yapılır. Sathi kaplamada yola serilen asfalt, kırmataş (mıcır) ile yerinde sıkıştırılır. Esnek üstyapılarda asfalt kaplama tabakasına gelen trafik yükü sırası ile temel ve alttemel tabakalarına yayılarak altyapıya, yani doğal zemine intikal eder. Bu nedenle yükün taşınmasında her tabaka önemlidir. Tabaka kalınlıkları, yüke ve zemin özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Aynı koşullarda esnek üstyapı toplam kalınlığı, rijit üstyapı toplam kalınlığından fazla olmak zorundadır [3].

2.1.2. Rijit üstyapılar

Rijit üstyapılar ise, aralarında temel tabakası olan ya da olmayan doğal zemin üzerine yerleştirilen portland çimentosu beton kaplaması tabakasından oluşur [4].

Rijit üstyapılarda beton kaplama betonun yüksek dayanımı ve elastisite modülü dolayısıyla rijit bir plak gibi çalışır. Rijit üstyapılarda beton kaplama tabakası

betonun yüksek elastisite modülü ve rijitliği sayesinde yükü büyük ölçüde karşılar. Zemin özellikleri tabaka kalınlığının belirlenmesinde kritik bir rol oynamaz [3]. Esnek ve rijit üstyapı tip enkesitleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Yol üstyapısı tip enkesitleri [4].

2.1.3. Kompozit üstyapılar

Kompozit bir kaplama, asfalt betonu kaplama ve portland çimentosu betonu kaplamanın birleşiminden oluşmuş kaplamadır. Portland çimentosu betonu kaplamanın alt tabaka ve asfalt betonu kaplamanın üst tabaka olarak kullanılması istenen özelliklerde ideal bir üstyapı meydana getirir. Portland çimentosu betonu tabakası güçlü bir taban sağlarken, asfalt betonu tabakası düzgün ve yansıma problemi oluşturmayacak bir tabaka sağlar [5].

2.2. Üstyapı Tipi Seçim Ölçütleri

Günümüzde motorlu taşıt trafik hacmindeki sürekli artışlar ve kaynak sağlanmasındaki güçlükler karşısında, çabalar yeni karayolu yapmaktan ziyade, mevcut karayolu üstyapılarının, gelecekteki yoğun ve ağır trafiğe cevap verebilecek şekilde yenilenmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Gerek yeni bir karayolu yapımında, gerekse üstyapı yenileme çalışmalarında üstyapı seçimi büyük önem taşımaktadır. Seçim yapılırken üstyapı tipleri teknik ve ekonomik yönden karşılaştırılmalı ve ülke koşulları da dikkate alınarak karara varılmalıdır [6].

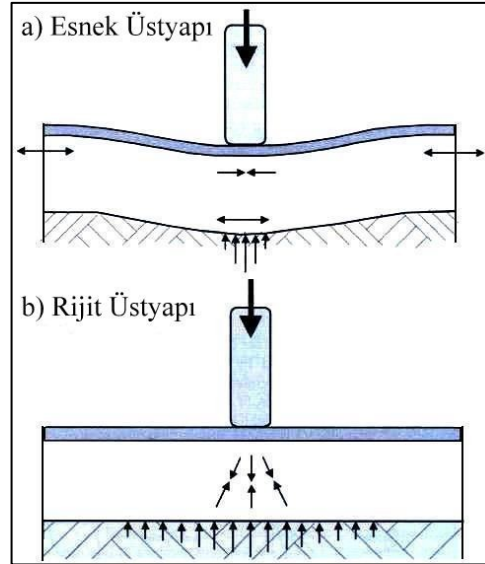
Bu bölümde karşılaştırma, sadece rijit ve esnek üstyapılar göz önünde bulundurularak yapılacaktır.

2.2.1. Üstyapı tipi seçiminde teknik ölçütler

2.2.1.1. Dıştan gelen yüklerin taban zeminine iletilmesi

Yol üstyapısı, trafiktten gelen yükleri daha geniş alanlara yayarak yolun altyapısına iletmektedir. Esnek üstyapı, çekme dayanımı yüksek olmayan malzemelerden yapılmış alttemel, temel ve kaplama tabakalarından oluşmaktadır. Tekerlek yükleri altında esnek üstyapı deforme olmakta ve her tabaka, üzerine gelen yükü bir alttakine biraz daha yayarak iletmektedir. Esnek üstyapıda oluşan gerilmelerin değeri yolun en üst tabakasından alta doğru inildikçe azaldığı için, kullanılacak malzemelerin mekanik özellikleri de bu gerilme dağılımına uygun olarak seçilmektedir.

Rijit üstyapılarda ise, beton plağın elastisite modülü taban zemininkinden çok büyüktür. Dolayısıyla beton yol, elastik zemine oturan bir kiriş şeklinde çalışır ve trafik yüklerini bu esasa göre, esnek üstyapıya göre daha geniş bir alana yayarak taban zeminine iletir. Taban zemini ile sürekli temas halinde olan beton yol elastik zemine oturan kiriş gibi çalıştığından, taşıma gücü taban zemininin direncine bağlı olmamaktadır. Bu nedenle rijit üstyapılar, zayıf taban zeminleri üzerinde, esnek üstyapılara göre daha iyi sonuçlar vermektedir [6]. Şekil 2.2’de esnek ve rijit üstyapılarda yük tepkisi ve gerilme dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Esnek ve rijit üstyapılarda yük tepkisi ve gerilme dağılımı [7].

2.2.1.2. Malzeme

Asfalt betonu kaplamada bağlayıcı malzeme olarak kullanılan asfalt, termoplastik bir maddedir. Sıcaklığa bağlı olarak asfalt; gevrek, elastik, elasto-plastik, viskoelastik ve

viskoz olmak üzere değişik reolojik hallerde bulunmaktadır. Asfaltın bu özelliği asfalt betonunun özelliklerine de yansımaktadır. Bu nedenle, karışımın plentte hazırlanması, yola serilmesi, yolda sıkıştırılması sırasında şartnamede belirtilen sıcaklık değerlerine büyük titizlikle uymak gerekmektedir. Beton yolda bağlayıcı olarak kullanılan çimentonun özellikleri sıcaklığa bağlı olmadığından, bu sakınca yoktur. Bitümlü bağlayıcıların yapısı, kaplamanın yapımından birkaç yıl sonra, bağlayıcı içindeki uçucu bileşenlerin ortamdaki uzaklaşması ve bağlayıcının okside olması ile bozulmaktadır. Bitümlü bağlayıcıların yaşlanması adı verilen bu olay, bağlayıcının sertleşmesi, daha az uzaması, agregası ile arasındaki adezyonunun azalması şeklinde kendini göstermektedir. Bitümlü bağlayıcısı yaşlanmış olan kaplama gevrek, kolay bozulup dağılacak vaziyettedir. Diğer taraftan vasıtalarından yola dökülen benzin, motorin, yağ gibi maddeler de bitümlü kaplamanın kimyasal yapısında değişikliğe sebep olmaktadır. Rijit üstyapılarda, sıcaklık ve nem farkından ve trafik yüklerinden ileri gelen gerilmeler altında beton plak çatlayabilmektedir. Çatlamayı önlemek veya çatlakların belirli yerlerde oluşmasını sağlamak amacıyla derzler yaparak kaplamayı serbest hareket eden plaklar halinde bölmek gerekmektedir. Diğer taraftan, ani sıcaklık değişimleri beton plağın altı ve üstü arasında sıcaklık farkına neden olmakta, plağın kamburlaşmasına ve eğilme gerilmelerinin artmasına yol açmaktadır. Plağın uzunluğu arttıkça olay şiddetlenmektedir. Nem farkı da benzer sorunlara neden olabilmektedir [6].

2.2.1.3. Trafik

Trafik hacmi ve trafik yıllık artış oranı yüksek olan, ayrıca trafik hacmi içindeki ağır taşıt oranı fazla olan yollar için rijit üstyapılar daha uygun olmaktadır. Düşük trafik hacmi artışı durumunda, kademeli inşaata elverişli esnek üstyapı ile gelişen trafiğe cevap vermek mümkün olabilmektedir [6].

2.2.1.4. Trafiğin engellenmesi

Esnek üstyapıların yapım ve onarımlarında, asfalt bağlayıcının kurummasına yetecek kadar bir zaman geçmesinden sonra, yani yapımından birkaç saat gibi bir zaman sonra trafiğe açılabilmesi mümkün olmaktadır. Ancak, esnek üstyapılar, çimento betonu yollara göre daha kolay bozulmakta, dolayısıyla daha sık bakım ve onarım gerektirmektedir. Beton yolların trafiğe açılabilmesi için, betonun prizini tamamlaması beklenmeli, yolun yapımından sonra en az 7 gün geçmesi

gerekmektedir. Bu ise, yapım ve onarım sırasında yolun kısmen veya tamamen trafiğe kapatılmasını gerektirmektedir. Tamamen kapatma halinde servis yolu yapılır. Bu da ek bir masrafa neden olmaktadır [6].

2.2.1.5. İklim

Mevsimler arasında büyük sıcaklık farkları olan, karasal iklimin olduğu bölgelerde, asfalt betonunun viskoelastik davranışlı bir malzeme olması sebebiyle, yazın tekerlek izi oluşmasına direnç gösteren, kışın ise çatlamayan bir bitümlü karışımın formüle edilmesi güç olmaktadır. Bu tip bölgelerde rijit üstyapıların kullanılması daha uygun olmaktadır. Ancak bu durumda, beton plaklar arasındaki derzler kışın çok açılacaktır. Bu da, belirli tip ince daneli taban zemininin suya doygun hale geldiği zaman, beton kaplama plağının kenarlarının devamlı çökmesi sebebiyle, su-toprak karışımının yukarı fışkırması, beton plağın altının yer yer boş kalması olarak tanımlanan pompaj olayını kolaylaştırmaktadır. Derz boşlukları uygun malzeme ile doldurularak, kayma demiri kullanılarak ve beton plak ile taban zemini arasına granüler malzemeden kaplama altı tabakası yapılarak pompaj olayı sakıncası giderilebilmektedir [6].

Üstyapı tipi seçimini etkileyen teknik parametreler Çizelge 2.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 : Teknik parametrelere göre üstyapı seçimi [6].

Teknik parametre \ Üstyapı tipi	Esnek Üstyapı	Rijit Üstyapı
Taban zemini taşıma değeri (CBR) 20 > CBR > 6 CBR < 6	+ -	+ ++
Trafik Yüksek trafik hacmi Yüksek yıllık artış oranı Düşük yıllık artış oranı Yüksek ağır taşıt miktarı	++ - + -	++ ++ - ++
Yüksek sıcaklık ve yüksek sıcaklık farkı	-	++
Onarım gecikmesi	-	+
Üstyapı kaplama takviyesi Üstyapı temel ve kaplama değişimi	+ -	- +
Tabloda ‘+’ veya ‘++’ işareti uygun olma durumunu, ‘-’ işareti ise elverişsiz olma durumunu göstermektedir.		

2.2.2. Üstyapı tipi seçiminde ekonomik ölçütler

2.2.2.1. Toplam ekonomik maliyet

Üstyapı tipi seçiminde en önemli kriter, uzun bir zaman dilimi, proje ömrü için hesaplanan toplam ekonomik maliyettir. Bir karayolunun gerçek ekonomik maliyeti, ilk inşaat maliyeti, proje ömrü süresindeki bakım maliyeti ve bakım işlemleri nedeniyle kullanıcı açısından ortaya çıkacak gecikme maliyetlerinin toplamıdır [6].

İlk yapım maliyeti

Bir üstyapının ilk yapım maliyeti hesaplanırken kullanılacak malzemelerin cins, miktar ve kaynaktaki maliyetlerinin tespiti, malzemelerin taşıma maliyeti, işçilik giderleri, inşaat makineleri ile ilgili masraflarla ilgili çalışmalar yapılır. Malzemelerle ilgili çalışma yapılırken, tasarlanan üstyapı tipinde kullanılacak malzeme cinsleri ve miktarları bulunup maliyetleri hesaplanır. Agregalar, tüm üstyapıların ana bileşeni olduklarından, toplam maliyeti büyük ölçüde etkilemektedirler. Ülkemiz için asfalt kullanılmasının döviz harcanması demek olduğu, buna karşılık çimentonun ham maddesinin tamamen yerli olduğu dikkate alınmalıdır. Malzemelerin taşınma maliyeti ile ilgili yapılacak çalışma taşıma uzaklığını içermektedir. Taşıma uzaklığı arttıkça taşıma maliyetinin artacağı gerçektir. Ülkemizde, rafineri sayısının azlığı sebebiyle, asfaltın rafineriden işyerine taşınma ücreti artmaktadır. Ülkemizde çimento fabrikaları yurt geneline dağılmış olduğundan, çimentonun taşıma ücreti asfalta göre daha düşük düzeyde kalmaktadır. Malzemelerin hazırlanması, yola serilmesi ve yapımın bütün aşamalarında kontrolün sağlanması için gerekli işçilik masraflarının hesaplanması gerekmektedir. Beton yol yapımında, değişik konularda uzmanlaşmış, kalifiye işçi gereksinimi daha fazla olmaktadır [6].

Bakım maliyeti

Trafik ve iklim koşulları, yolun bozulmasına neden olan iki önemli faktördür. Bu etkilere karşı koymak için bakım yapmak zorunlu olmaktadır. Bakım onarım sırasında bakımın tipi, yol bozukluklarının türü ve derecesi, trafik yönünün değiştirilmesi ve iş sonrasındaki kontrol, bakım çalışmaları için ayrılacak süre gibi hususlara dikkat edilmelidir. Rijit üstyapılar 30-40 yıllık hizmet süreleri için projelendirilmektedirler. Projelendirme ve yapım işlerinin iyi gerçekleştirilmesi halinde, beton yollar tüm hizmet ömürleri boyunca az miktarda bakım gerektirirler. Periyodik olarak yapılması gereken bakım, yaklaşık 4-5 yılda bir derz dolgularının

yenilenmesidir. Bu ise trafiğe müdahale etmeksizin, تنها zamanlarda yapılabilen düşük maliyetli bir iştir. Burada, beton kaplamaların zor ve pahalı tamirlere neden olabilecek projelendirme ve yapım hatalarına esnek üstyapılardan daha duyarlı olduklarını ve bu nedenle başlangıçtan itibaren bu tür kaplamaların, yüksek projelendirme ve yapım standartlarına göre yapılmasının zorunlu olduğunu vurgulamak gerekmektedir. Esnek üstyapılar, rijit üstyapılardan oldukça farklı bir bakım ve onarım ömrüne sahiptir. Genellikle 20 yıllık bir süre için projelendirilen esnek üstyapılarda, ilk 5 yıldan sonra küçük onarımlar ve yüzey kaplaması gerekebilir. Onuncu yılda, yol yüzeyinin büyük bir olasılıkla yenilenmesi, pürüzlendirilmesi gerekecektir. Bir 5 yıl daha geçince, ilk beşinci yıldaki gibi yüzey yapısını restore etmek gerekir. Yirmi yıl sonra yol, tasarım ömrünün sonuna geleceğinden, yapının yeni bir üstyapı ile takviye edilmesi gerekmektedir. Bunların dışında, temel ve alttemel tabakalarının onarımı ve değiştirilmesi gibi çok önemli bakım ve yenilemeler de gerekli olabilmektedir. Bu bakım çalışmaları oldukça maliyetli olduğu gibi, bakım çalışmaları sırasında yolun bir şeridinin veya tamamının kapanması da gerekmektedir. Bu da, trafikte önemli aksamlar meydana getirmektedir. Trafiğin çok yoğun olduğu bölgelerde, otoyollarda bu gecikmelerin esnek üstyapıların maliyeti üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır [6].

2.2.2.2. Yolu kullananların harcamaları

Normal hallerde lastik eskimesi, yağ, yakıt tüketimi gibi işletme masrafları, her iki üstyapı tipinde de eşit durumda bulunmaktadır. 20-30 yıllık hizmet ömrü zarfında, yol bakım çalışmalarının yol açtığı gecikmeler esnek üstyapılarda büyük ekonomik zararlara yol açmaktadır. Beton yollarda ise, bu sakınca yok denecek kadar azdır [6].

2.2.2.3. Finansman kaynakları ve iskonto oranı

Üstyapı tipinin seçimi, yapım işinin finanse edilme şeklinden de etkilenebilmektedir. Bu açıdan, bakım değil, yalnızca yapım masraflarının finanse edildiği durumlarda rijit üstyapılar tercih edilmektedir. Bunun tersine, artan trafiğe cevap verebilmek için art arda tabakaların yapılması gibi kademeli inşaat stratejisi gerektiren, sınırlı yatırım kaynakları ve yüksek iskonto oranı gibi durumlarda esnek üstyapıları kullanmak daha avantajlı olmaktadır [6].

2.2.2.4. Enerji tüketimi

Enerji sorunlarının ciddiliği, zamana ve ülkeye göre değişkenlik göstermektedir. Buna ek olarak, yol yapımında kullanılan enerji, bu yolları kullanan taşıtların yakıt tüketimi yanında genellikle az kalmaktadır. Buna karşın, kaplama yapım stratejisinin seçiminde, en önemli kriterler olan yapım ve bakım masraflarının yanı sıra problemin enerji yönü de dolaylı olarak seçimi etkileyebilmektedir.

Üstyapı tipi seçimini etkileyen ekonomik parametreler Çizelge 2.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.2 : Ekonomik parametrelere göre üstyapı seçimi [6].

Ekonomik parametre Üstyapı tipi	Esnek Üstyapı	Rijit Üstyapı
Bitümlü malzeme azlığı	-	+
Yüksek kaliteli agrega eksikliği	-	+
Kullanılmayan hidrolik bağlayıcı (cüruf, uçucu kül ve çimento) bulunması	-	+
Yüksek iskonto oranı	+	-
Sınırlı yatırım kaynağı	+	-
Enerji azlığı	-	+
Tabloda ‘+’ işareti uygun olma durumunu, ‘-’ işareti ise elverişsiz olma durumunu göstermektedir.		

3. BETON YOLLAR

3.1. Beton Yolların Tarihçesi

Yollarda hidrolik ve puzolanik bağlayıcılar, ilk olarak Romalılar tarafından, M.Ö. birinci yüzyılda kullanılmıştır [6].

Modern çağlarda ilk beton yol, 1880 yılında Avustralya'nın Sydney şehrinde yapılmıştır. Bu yolun en az 50 yıl hizmet vermiş olduğu anlaşılmaktadır [8].

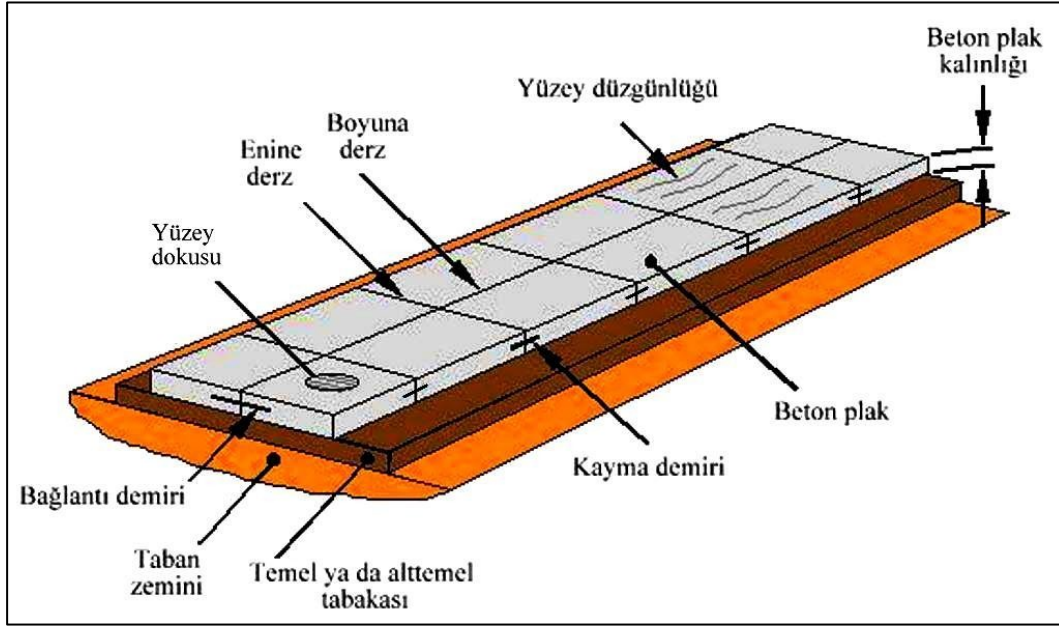
Amerika Birleşik Devletleri'nde ilk beton yol, 1891 yılında Ohio Eyaleti'nin Bellefontaine şehrinde George Bartholomew tarafından inşa edilmiştir. George Bartholomew çimento üretimini Almanya ve Teksas'da öğrenmiş, kireçtaşı ve kil gibi gerekli hammaddelerin saf kaynaklarını da Ohio'da bulmuştur. Yapılacak ilk beton yol olması sebebiyle, şehir meclisi George Bartholomew'in kaplamanın en az 5 yıl dayanacağını garanti etmesi için 5000 dolarlık bir teminat bedeli ödemesini gerekli kılmıştır. Üzerinden 100 yıldan fazla bir süre geçmesine rağmen, bugün hala kullanılmakta olan yol, tarihi bir yapıt olarak da ziyaretçilerin ilgisini çekmektedir [8,9].

İnşa edilen diğer ilk beton yollar ise, 1905 yılında Chicago şehrinde yapılan ve 60 yıl hizmet veren ve Detroit şehrinde 1909 yılında yapılan yolları kapsamaktadır [9].

Beton yolların yaygınlaşması ise, 20.yüzyılın ortalarına doğru hız kazanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'ne ek olarak, Fransa ve Belçika'da, daha sonra Almanya'da beton yollar yapılmıştır. 1930'lu yıllarda 2. Dünya Savaşı'na hazırlanan Almanya'da beton otoyolların uzunluğu 4000 km'yi bulmuştur. Amerika Birleşik Devletleri'nde 1957 yılında başlayan 'Eyaletler Arası Otoyol Sistemi' tamamlandığında, önemli bölümü beton kaplama olan 60,000 km'den fazla yol yapılmıştır. Bugün Amerika Birleşik Devletleri'nde bazı büyük şehirlerin çevre yolları da beton kaplama olarak yapılmıştır. Son 50 yıl içerisinde Belçika, Fransa, Almanya ve Avustralya'ya ilaveten, Avusturya, İspanya, İngiltere, Kanada ve Güney Afrika gibi ülkelerde de beton yollar yapılmaktadır. Son yıllarda Azerbaycan, Hindistan ve Çin'de de beton yol projeleri başlamıştır [8].

3.2. Beton Yol Elemanları

Beton yollar çeşitli aşamalardan geçerek inşa edilmekte ve buna bağlı olarak da değişik elemanlardan oluşmaktadır. Bu değişik elemanların bir araya getirdiği bütünlük sayesinde beton yol ortaya çıkmaktadır. Beton yol elemanlarını taban zemini, kaplama altı tabakası, beton plaklar ve derzler olarak ayırmak mümkün olmaktadır [6]. Beton yol elemanları Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

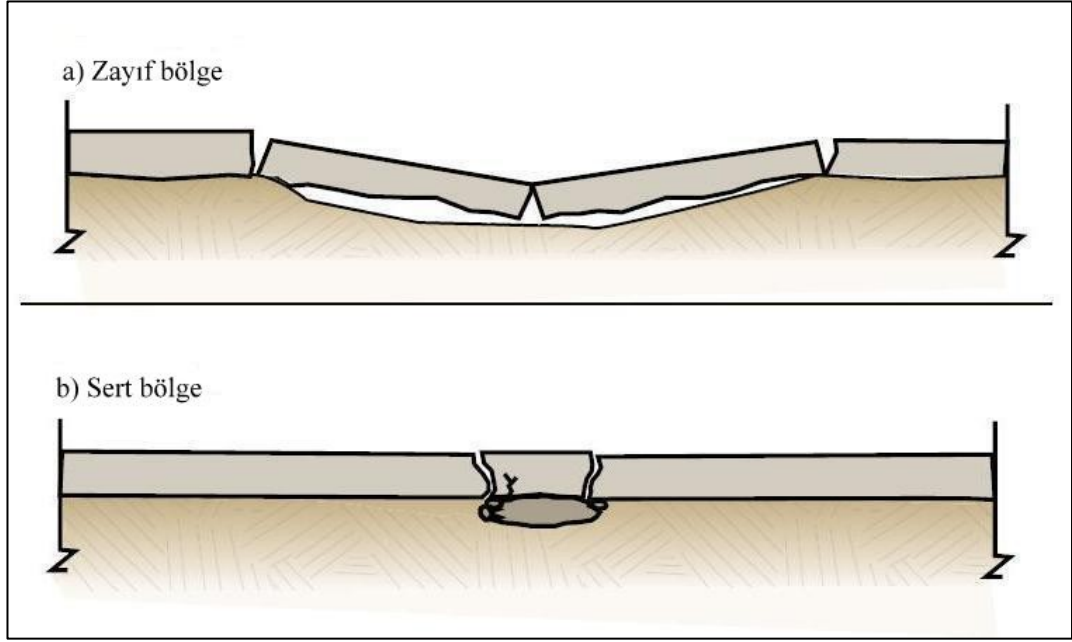


Şekil 3.1 : Genel olarak beton yol elemanları [10].

3.2.1. Taban zemini

Beton bir kaplamada oluşan bozuklukların en yaygın sebebi, erken dönemlerde oluşabilecek çatlaklar haricinde, kaplama altındaki taban zemini veya temel tabakasının yetersizliğidir. Bu sebeple beton kaplamaya veya beton plağa, yükleri taşıyabilecek üniform uygun bir mesnet sağlanması önemli bir konudur. Taban zemini, kaplamanın üzerine yerleştirildiği, sıkıştırılmış ve belli bir gradasyonu olan doğal zemindir. Taban zemininin homojenliği ve yüklere karşı olan dayanıklılığı, kaplamanın hem uzun süreli performansını hem de inşaat sürecini etkilemektedir. Taban zeminin hazırlanması zemin tipine, çevresel koşullara ve ağır trafik oranına bağlı olarak değişebilir. Her durumda amaç, kaplamaya hizmet ömrü boyunca etkili olabilecek bir mesnet elde etmektir. Beton kaplama rijitliğinden dolayı, yüklerden oluşan gerilmeleri alttaki tabakaya büyük bir alan üzerinde etkiyecek şekilde iletir. Bunun bir sonucu olarak zemin üzerindeki sehimler az ve gerilmeler düşük

olmaktadır. Bu nedenle de beton kaplamalar, özellikle sağlam bir mesnet gerektirmezler. Önemli olan sağlam bir mesnetten ziyade, homojen bir mesnettir. Taban zemini ani değişimlerin olmadığı üniform bir yapıya sahip olmalıdır. Bu da zeminde zayıf ya da sert bölgelerin olmaması anlamına gelmektedir. Üniform olmayan zeminler kaplamada bölgesel sehimlerin artmasına ve gerilme yığılmalarına sebep olur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Üniform olmayan zeminlerin beton plaklar üzerindeki etkisi [11].

Bazı taban zeminleri rijit kaplamaya zarar verecek ve rijit kaplamanın davranışını etkileyebilecek özelliktedirler. Bu zararlı etkileri, çoğu zaman plak kalınlığını artırarak gidermek mümkün olmamaktadır. Önlem alınmasını gerektiren problemlerin, henüz proje aşamasındayken teşhis edilmesi ve çözümlerinin plan ve şartnamelerde dikkate alınması gerekmektedir. En çok karşılaşılabilecek zemin problemleri şunlardır;

- Serbest su bulunması durumunda, beton plakların hareketleriyle zeminin pompaj olayına ve aşınmaya yatkınlığı,
- Daha önceden iyi sıkıştırılmamış, taneli zeminlerde ağır trafik titreşimleriyle oluşan ilave sıkışmalar ve bu sıkışmalardan kaynaklanan oturmalar,
- Su içeriğindeki değişimler sebebiyle bazı zemin tiplerinde görülen aşırı hacim değişimleri,
- Donmaya karşı hassas olan zeminlerde, serbest suyun donma ve çözülme etkilerine maruz kalmasıyla zeminin taşıma gücünde meydana gelen azalma,

- Esnekliği fazla zeminlerde, yüklerin geğişiyle meydana gelen aşırı çökmeler ve geri gelmeler,
- Viskoelastik davranış sergileyen bazı zeminlerde, trafik yüklerinden ileri gelen kalıcı deformasyonlar,
- Zemin cinsi ve durumundaki büyük değişikliklerin sonucunda meydana gelen üniform olmayan taşıma güçleri.

Bu gibi problemler dikkate alınarak, proje yapımında aşağıdaki önlemlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir:

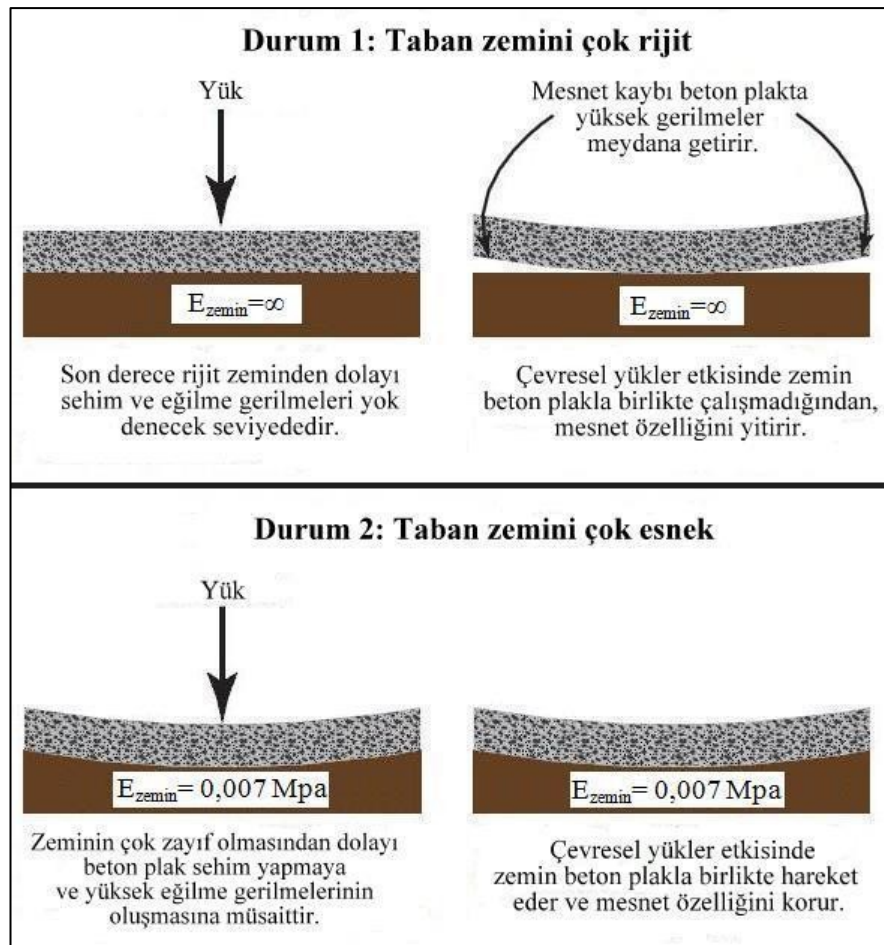
- Üstyapının alttemel kısmına uygun malzeme koyarak, pompaj olayına yatkın zemin korunmalıdır.
- Plastisite indeksi 25'ten küçük olan zeminler uygun bir deney metoduyla tespit edilen yoğunlukların en az % 95'i elde edilecek şekilde sıkıştırılmalıdır.
- Yüksek plastisite indeksine sahip killi zeminler alttemel tabakasına ilave olarak yeterli kalınlıkta seçme malzeme ile örtülmelidir.
- Don etkisi görülen yerlerde, önlem olarak, don hassasiyeti olan zemin sıyrılmalıdır. Eğer bu tip zeminler tamamıyla sıyrılamayacak kadar fazlaysa, donma ve çözülmenin zararlı etkilerini yenecek uygun bir malzeme ile uygun kalınlıkta örtülmesi gerekmektedir. Ayrıca yeterli drenaj da sağlanmalıdır.
- Fazla elastik olan zeminlerde yeterli kalınlıkta uygun malzeme ile ilave çökmelerin oluşturacağı zararlı etkilerin önüne geçilmektedir. Bazı durumlarda, kalınlığı arttırılarak veya özel donatılar kullanılarak, kaplamanın rijitliğinin arttırılması daha ekonomik olabilmektedir.
- Yapım sırasında doğal zeminin bileşiminin, yoğunluğunun ve su oranının üniform kalmasını sağlayacak önlemlerin alınması gerekmektedir [6].

Beton bir kaplama için en iyi taban zemini durumu Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

3.2.1.1. Zemin şişmesi

Şişen zeminlerin hacimleri, zeminin su içeriğindeki değişimlere bağlı olarak değişir. Genellikle killi zeminlerde ya da yüksek plastisiteli zeminlerde görülen şişme problemi kaplamada büyük problemlere neden olabilmektedir. Deneyimler, plastisite indeksi 25 değerinden küçük olan killi zeminlerin hacim değişimlerinin, özellikle de güzergah boyunca ani değişimlerin olmadığı karakterdeki zeminlerde, beton kaplamalar için önemli olmadığını göstermiştir. Bununla birlikte deneyimler, şişen

zeminlerin kontrolsüz şişme ve büzölmelerinin, zeminin üniform olmayan mesnet durumuna gelerek, beton kaplamada gerilme artışlarını meydana getirdiğini de göstermiştir. Buna rağmen, kaplama ömrü boyunca zeminin su içeriğinde değişimlerin olmaması mümkün değildir. Şişmeye yatkın zeminlerde, hacim değişikliği birkaç nedene bağlı olarak oluşmaktadır. Bunlardan ilki iklimdir. Zeminin su içeriği mevsimlere bağlı olarak, yıl içinde veya yıldan yıla değişim gösterebilir. Bir ikinci neden ise, zemine gelecek ek yüklerdir. Bunlar şişen zemin üzerindeki kaplama, alttemel ve varsa diğer tabakaların ağırlığıdır. Bir diğer sebep ise, kaplamanın yapıldığı esnada, zeminin su içeriği ve yoğunluk durumudur [12].



Şekil 3.3 : Uygulanan yükler ve çevresel yükler etkisinde zeminin etkisi; beton bir kaplama için en iyi zemin durumu iki durumun arasında olmalıdır [12].

3.2.1.2. Don etkisi

Don etkisi, kuzey iklimlerinde kış mevsiminde veya bahar mevsiminin ilk dönemlerinde görülen bir olaydır. Pratik olarak toprak örtüsünün tüm yüzeyi biraz da olsa don etkisine maruz kalmaktadır. Don etkisinin büyüklüğü bölgedeki hakim

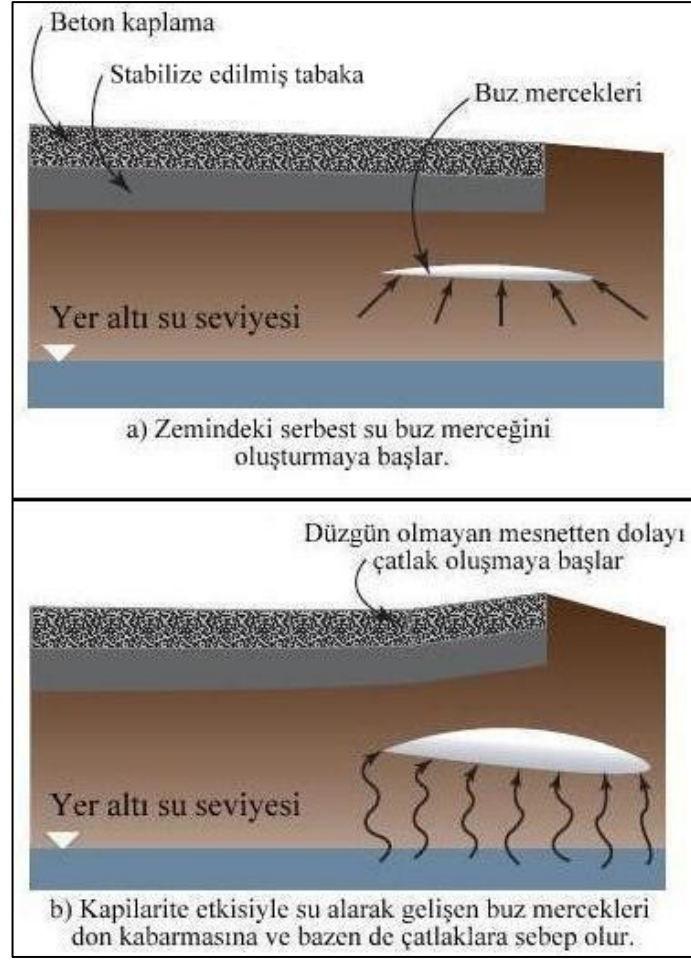
iklime ve yağış koşullarına bağlıdır. Don etkisi iki aşamada gerçekleşir. İlki, zemindeki suyun donması ve ikincisi de zemin suyunun çözülmesidir. Beton kaplama için don etkisi, donma aşamasında yol yüzeyinde farkedilebilir kabarmalar oluşması ve çözülme aşamasında yol temelini önemli ölçüde yumuşaması sonucu kritik bir problem haline gelmektedir. Beton kaplamalar için don etkisini ortadan kaldırmak, üniform taban zemini şartını sağlamakla alakalıdır. Bu da önemli ölçüde farklı don kabarmalarına neden olacak su içeriği koşullarını ortadan kaldırarak elde edilebilir. Bu koşullara en çok sahip olabilecek yerler ise şunlardır;

- Taban zeminin don hassasiyeti olmayan kumdan, don hassasiyeti yüksek olan silte ani değişim gösterdiği yer,
- Yarma-dolgu geçişleri,
- Yer altı su tabakasının yüzeye yakın olduğu yerler,
- Su taşıyıcı katmanların kesiştiği yerlerdir.

Yol yüzeyinin don etkisi nedeniyle kabarmasına don kabarması denir. Don kabarması, özellikle süreksizlik olan bölgelerde düzensiz mesnet oluşmasına neden olur. Düzensiz mesnet oluşan bu bölgelerde, ağır yüklerin etkisiyle çatlak oluşumu başlar. Don kabarması oluşmadan önce, en az aşağıdaki üç durumun gerçekleşmesi gerekmektedir:

- Donma olayının gerçekleşmesine sebep olacak iklim etkisiyle, yol yüzeyinden başlayarak, kaplama altı tabakası ve temele kadar donma,
- Kaplamanın altından, üzerinden ve/veya yanından donmanın etkili olduğu yere su hareketi,
- Donmanın etkili olduğu bölgede don hassasiyeti olan zeminin olması.

Yer altı suyu tabakasının, kaplama yüzeyinden 3 m aşağıda olması durumunda, suyun don kabarmasının gerçekleşmesi için gerekli olması nedeniyle, don kabarmasının olması genellikle mümkün değildir. Kabarma, kaplama altında bulunan zemindeki suyun donması ve buz mercceklerinin oluşmasından kaynaklanmaktadır. Su donduğunda hacminin % 9'u kadar genişler. Taban zemininde sıcaklık donma sıcaklığının altına indiği zaman, taban zeminindeki serbest su donmaya başlar. Eğer zemin kapilarite hareketine karşı hassas ise, su önce buz kristallerine dönüşmeye başlar ve donar [12]. Buz merceğinin oluşumu ve gelişimi Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Don kabarmasına sebep olan buz merceğinin oluşumu [12].

Kaplama altındaki zemine su girişini önlemek neredeyse imkansızdır. Fakat, iyi bir drenaj sistemi don kabarmasına sebep olacak su miktarını azaltabilir.

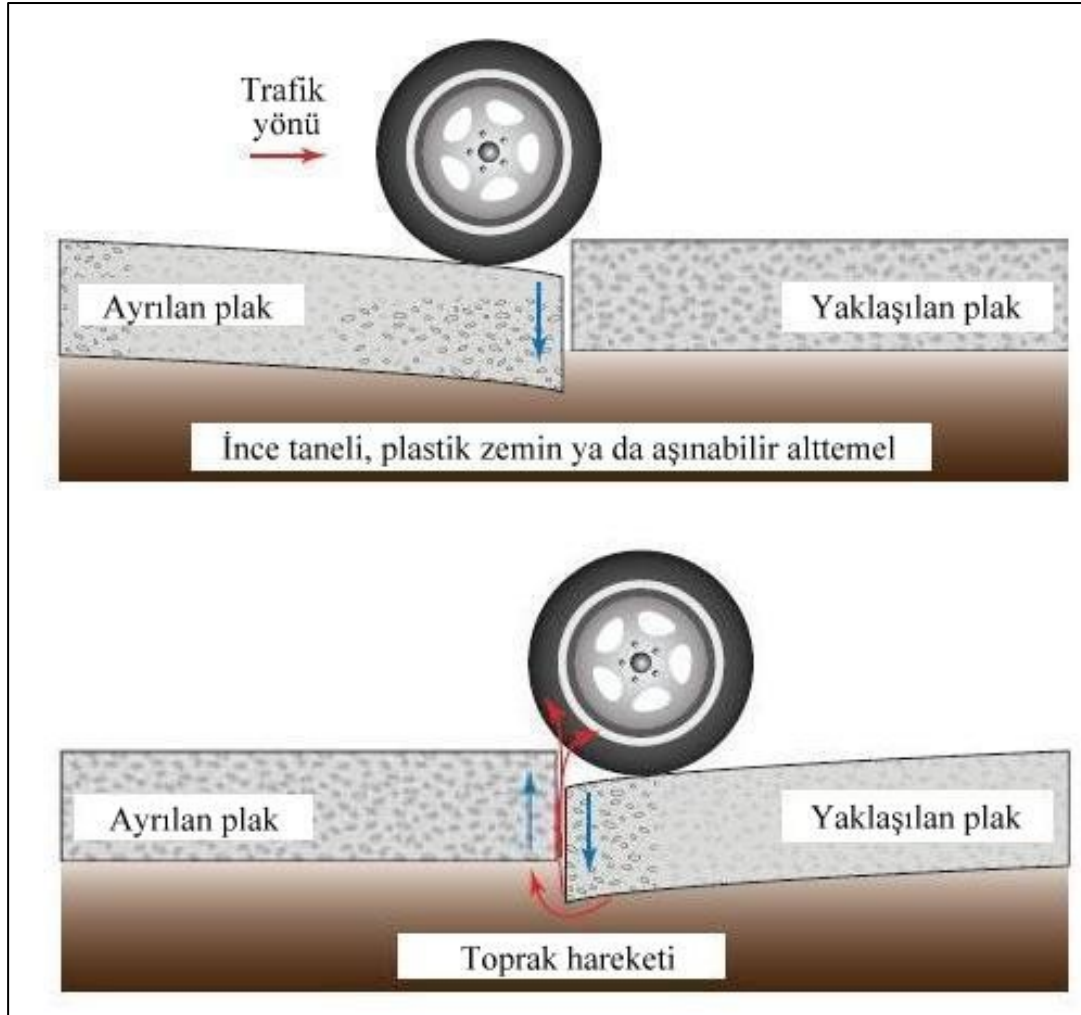
Don kabarması aşağıda belirtilen yerlerde daha fazla meydana gelmektedir:

- Yarmadan dolguya geçiş yapılan yerler,
- Hendeklerin yetersiz olduğu ya da bulunmadığı yerler,
- Menfez üzeri yerler,
- Barajlar için su toplama kanalları ve/veya hendeklerinin yakın olduğu yerler,
- Taban zemini malzemesinin ani değişim gösterdiği yerler.

Bazı zeminler, buz merceklerinin oluşumuna karşı diğer zeminlerden daha hassastır. Silt ya da siltli kil zeminler, donmaya karşı en hassas zeminler olarak değerlendirilmektedirler. Don kabarmasını önlemek için, don hassasiyeti olan zeminler, sıyrılıp kaldırılmalı ya da stabilize edilmelidir. Don hassasiyeti olan alanlarda, drenaj kusursuz bir şekilde sağlanmalı ve drenajı sağlayan yapılar temiz tutulmalıdır [12].

3.2.1.3. Pompaj

Pompaj olayı, toprak-su karışımının plaklar arasındaki derzlerden, kaplama kenarlarından ya da kaplamada bulunan çatlaklardan dışarı fışkırması olayı olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : Pompaj mekanizması [12].

Kontrol edilmeyen ve devam eden pompaj olayı, sonunda yeteri kadar toprağı dışarı çıkararak, plak köşelerinde ve kenarlarında destek kaybına yol açarak mesnetin üniformluğunu ortadan kaldırır. Oluşan destek kaybı, genellikle plak köşelerinde erken çatlakların ve enine derzlerde kusurların oluşmasına sebep olarak, kaplama yüzeyinin bozulmasına neden olur. En kötü durumda ise, yükler altında yeteri kadar sehim yapan plakların arasındaki derzlerden çıkan ince taneli zemin ve su karışımı, kaplama yüzeyinde açıkça görülebilecek lekeler oluşturur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 : Pompaj olayı görüntüsü (üstte) ve bankette pompajdan kaynaklanan lekeler (altta) [12].

Pompaj olayına en yatkın zemin türü, yüksek plastisiteli silt ve kildir. Pompaj olayı, zor aşınabilecek alttemel ya da stabilize alttemel kullanılarak hafifletilebilir. Deneyimler alttemel seçiminden bağımsız olarak, pompaj olayını önlemenin en etkili tasarım unsurunun kayma demirli enine derz kullanmak olduğunu göstermiştir [12].

3.2.2. Alttemel – kaplama altı tabakası

Beton kaplamaya zarar verebilecek bir ya da birden çok durumun mevcut olması halinde, beton plak ile taban zemini arasına bir tabaka daha yapılır. Bu tabakaya ‘alttemel’ ya da ‘kaplama altı’ tabakası adı verilir.

Kaplama altı tabakası aşağıdaki durumlardan biri veya birkaçı mevcut olduğunda yapılmaktadır:

- Don etkisi,
- Yüksek hacim değişimi gösteren zeminlerde ‘şişme’ ve ‘büzölme’ etkisi,
- İnce taneli zeminlerde ‘pompaj’ etkisi,
- Tabanın taşıma gücünün arttırılmasına ihtiyaç duyulması [6].

Beton kaplamalar altında birkaç farklı alttemel tipi başarılı bir şekilde kullanılabilir. Bunlar stabilize olmayan ya da granüler alttemeller ve stabilize edilmiş alttemeller olarak ikiye ayrılmaktadır. Stabilize alttemeller ise, çimento ile stabilize edilmiş ve asfaltla stabilize edilmiş alttemeller olarak iki gruba ayrılmaktadır [12].

3.2.2.1. Stabilize olmayan alttemeller

Granüler alttemel olarak da bilinen stabilize olmayan alttemeller, karayolu uygulamalarında kullanılan en yaygın alttemel tipidir. Granüler alttemellerde kullanılan malzemeler kırmataş, çakıl, kum gibi iri daneli malzemelerdir. Ayrıca geri dönüşümü yapılarak kırılan beton da granüler alttemeller için iyi bir malzemedir. Granüler alttemeller, tasarımı ve yapımı uygun bir şekilde gerçekleştirildiği zaman, bütün beton kaplama tipli yollarda önemli bir mesnet tabakası oluştururlar [12].

3.2.2.2. Stabilize alttemeller

Stabilize alttemeller, alttemel malzemeleri ve çimento veya asfalt bağlayıcının kullanılmasıyla oluşturulmuş alttemellerdir. Stabilize alttemellerin öncelikli faydası, yeterince sağlam ve üniform bir mesnet sağlamalarıdır. Ayrıca, stabilize alttemeller pompaj olayına karşı da dayanıklıdırlar.

Granüler alttemellerle karşılaştırıldıklarında, stabilize alttemellerin daha iyi bir mesnet sağladıkları söylenebilir. Stabilize alttemellerin bir diğer yapısal faydası ise, özellikle de kayma demirsiz derzlerde yük aktarımını iyileştirmesidir [12].

3.2.3. Beton plak

Beton plaklar, beton yolun trafik yükleri ile temas halinde olan ve betondan yapılan en üst tabakasıdır. Beton plak Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : Beton yolun en üst tabakası olan beton plak [13].

Beton plaklar yüzey sürtünmesi, yüzey düzgünlüğü, gürültü kontrolü ve drenaj gibi özelliklerin sağlanmasında etkin tabakadır. Ayrıca, alttemel, taban zemini gibi tabakalar için de su geçirmez bir tabaka olarak da görev yapar. Beton plak kalınlıkları genellikle 15 cm ile 30 cm arasında değişmektedir [13].

3.2.4. Çelik donatı

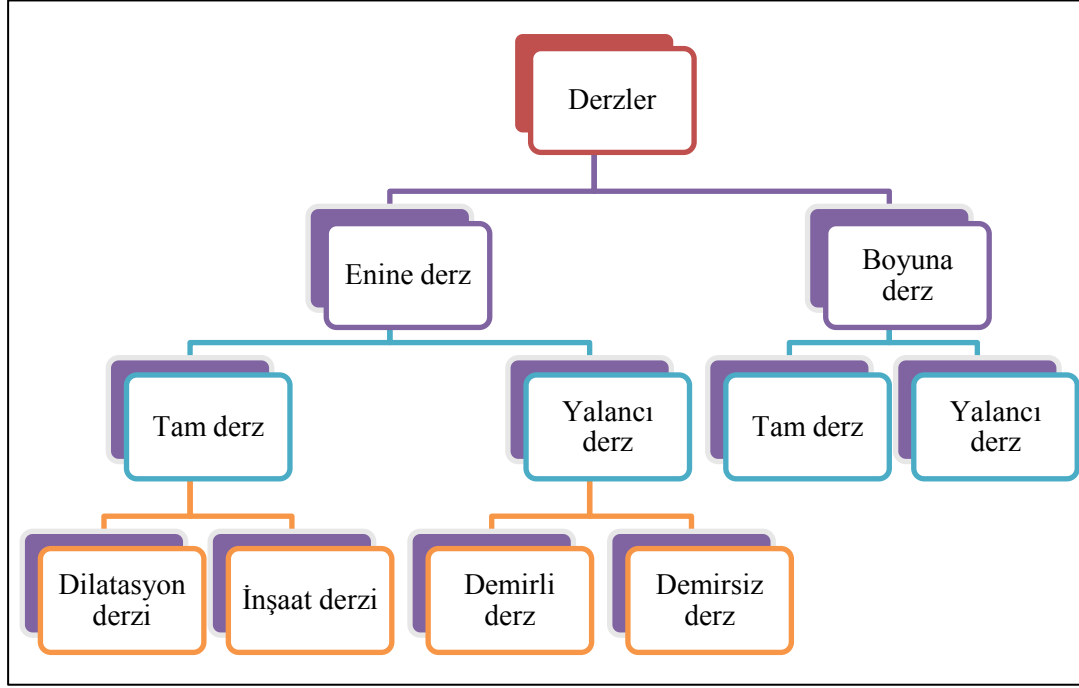
Beton yollarda çelik donatı olarak tek çubuklar veya kaynak ile birbirine kaynatılan çubukların oluşturduğu çelik hasırlar kullanılmaktadır. Çelik donatının görevi, beton plaklarda oluşabilecek çatlakların büyümesini önlemektir. Donatı, çatlayarak birkaç parça haline gelen beton plağı tek parça halinde tutmakta ve çatlak iç yüzeylerindeki sürtünme yetersiz olduğu zamanlarda da, çatlağın bir tarafındaki parçadan diğer tarafındaki parçaya kesme kuvveti iletmektedir. Çelik donatının diğer bir faydası ise, kaplamanın tamamlanması ile betonun prizini tamamlaması arasında geçecek süre boyunca rötreyi plağın bütün uzunluğuna yaymaktır. Uzun süre trafiğe hizmet etmiş olan donatılı ve donatısız beton yol plakları üzerinde yapılan gözlem ve deneyler, aynı koşullar altında, donatılı plakların donatısızlara göre daha az çatladığını ve genleşme hacimlerinin daha küçük olduğunu göstermiştir [6].

3.2.5. Derzler

Sıcaklık ve nem miktarındaki değişimler, betonun genleşmesine ve büzülmesine sebep olur. Betonda oluşan genleşme ve büzülme hareketleri nedeniyle ve trafik yüklerinin etkisiyle beton plakta bazı gerilmeler oluşmaktadır. Beton plak serbestçe hareket edecek biçimde yapılmazsa, oluşan bu gerilmeler sonucunda beton plak çatlamaktadır. Ancak, uygun aralıklarla derzler yapılması ve derzlerin çelik donatı ile

kuvvetlendirilmesi durumunda, geniş çatlaklar oluşmasının bir noktaya kadar önlenmesi ve çatlakların belirli yerlerde oluşmasının sağlanması mümkün olabilmektedir. Beton plaklarda çatlak oluşmasını tamamıyla önleyebilecek bir teknik henüz bulunmamaktadır [6].

Beton kaplamada uygulanan derzler beton yollar teknik şartnamesine göre Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Derz türleri [6].

3.2.5.1. Enine derzler

Enine derzler, enine çatlakları kontrol etmek için yapılmaktadırlar. Derzler, beton kaplamaların yapım maliyetini artırdıkları ve yapımı güçleştirdikleri gibi, özellikle derz boşluklarından sızan suların tabanı yumuşatması sonucunda şiddetli zedelenmelerin etkisinde kalmaktadırlar. Bu sebeple, derz boşluklarının doldurularak su geçirmez hale getirilmesi gerekmektedir.

Derzler yapılırken aşağıdaki sorunlar göz önünde tutulmalıdır:

- Derzler arasındaki mesafe doğru olarak belirlenmelidir. Derz sayısını azaltmak amacı ile bu mesafenin mümkün olduğu kadar büyük tutulması istenir.

- Derz genişliği en uygun şekilde belirlenmelidir. Bu genişliğin olabildiğince küçük tutulması daha iyidir. Ancak, derzler arasındaki mesafe büyüdükçe, derz açıklığının da büyüyeceği unutulmamalıdır.
- İki komşu plak arasında kot farkı oluşmamasına özen gösterilmelidir.
- Tabana su sızmasını önlemek için, derz boşluğu iyi doldurulmalıdır [6].

Yalancı (yarım) derzler

Beton plak kesiti belirli yerlerde, yeterli miktarda zayıflatılarak, sıcaklık değişimi ve rötre etkisiyle plakta meydana gelecek gerilmelerin yol açacağı çatlakların zayıflatılmış kesitlerde oluşmasını sağlamak için yalancı derzler yapılmaktadır. Sıcaklık, betonun döküldüğü andaki sıcaklığın altına düştüğü zaman beton büzülme ve çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Betonun çekme gerilmesine karşı dayanımı az olduğundan, çatlak kontrolü için, yalancı derzlerin belirli aralıklarla yapılması gerekmektedir. Yalancı derzler genel olarak betonu testere ile keserek ya da beton prizini tamamlamadan, beton içine ahşap veya metal şerit yerleştirilerek açılır. Yalancı derzler demirsiz yapılabildiği gibi kayma demirli olarak da yapılabilmektedirler. Kayma demiri yükün bir kısmını bir plaktan diğerine aktarır ve büzülme sırasında boyuna yöndeki hareketi sağlar. Yalancı derzlerin çatlamaları önleyecek kadar sık aralıklarla yapılması halinde, kayma demiri kullanılmasına gerek kalınmayabilir [6].

Dilatasyon (genleşme) derzleri

Dilatasyon derzleri beton plakların genleşmesine olanak sağlayan derzlerdir. Bu derzlerin, tam derz tipi olarak gösterilmesinin sebebi ise, derzin kaplamanın bütün kalınlığı boyunca açılmasıdır. Genleşmeye engel olacak maddelerin derze girmemesi için derz sıkışabilir bir malzeme ile doldurulur. Derz dolgu malzemesinin plağın hareketine uyum sağlayabilecek şekilde hareket etmesi ve her koşulda geçirimsiz olması gerekmektedir. Genleşme derzleri, plağın uzaması halinde, plağın serbestçe hareket etmesine olanak sağlayacak genişlikte düzenlenmelidir. Yol plaklarında sıcaklık artışından doğan hacim artışı, boşlukta ve serbestçe asılı duran ve herhangi bir yükü yüklenmiş bulunmayan bir beton kitlesindeki hacim değişiminden daha farklı ve daha küçük olur. Bu sebeple, plağın orta kısmındaki uzamalar kenarlardaki uzamalardan daha az olmaktadır. Bu nedenle hesaplamalar sonucunda bulunan hacim değişimi gerçekte görülmemektedir. Dilatasyon derzleri pompaj olayına karşı çok duyarlıdır. Derzin kaplamanın bütün kalınlığı boyunca açılması ve yük altında en

büyük deformasyonların dilatasyon derzlerinde oluşması, alt ve üst dolgu malzemelerinde oluşabilecek bir bozukluk sonucunda suyun derzden tabana kadar sızması, pompaj olayının etkili bir şekilde gerçekleşmesine neden olmaktadır [6].

İnşaat derzleri

İnşaat derzleri kaplama plaklarını bütün kalınlıkları boyunca birbirinden ayırmaktadırlar. Fakat inşaat derzlerinde, genleşme derzlerinde olduğu gibi genleşme payı yoktur. Bu derzler, günlük iş bitiminde, o noktada yapısal bakımdan bir derz gerekmemesi halinde bile, önceden dökülen plak ile yeni dökülecek plakayı birbirine bağlamak için yapılır. Genel olarak, yapım sırasında beton dökümü yapısal bakımdan gerekli bir derzde bitecek şekilde planlandığından çoğu kez bu tip bir derzin yapımına gerek kalmamaktadır [6].

3.2.5.2. Boyuna derzler

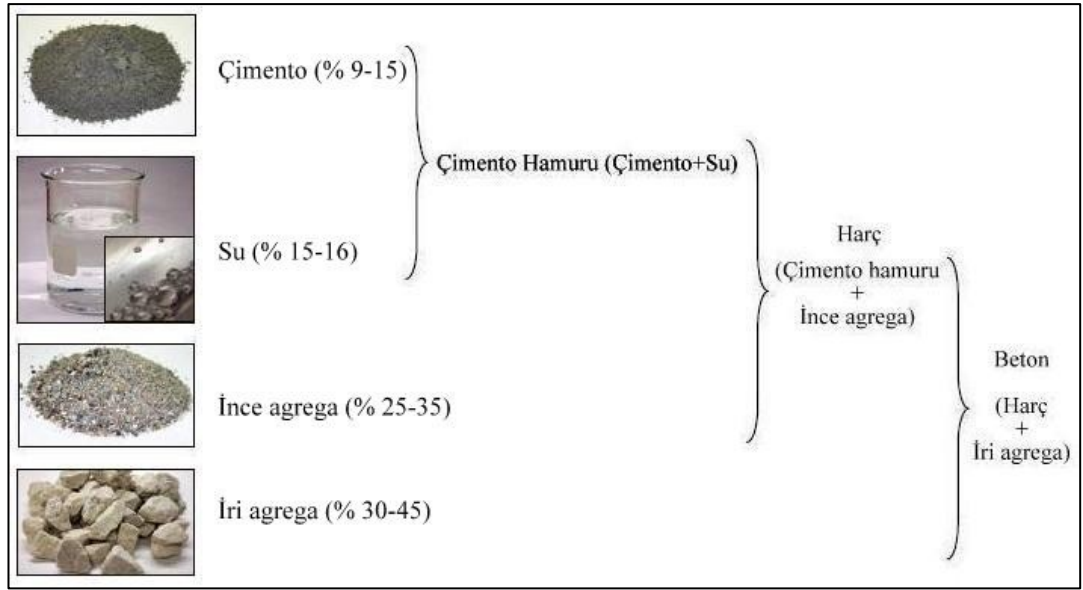
Boyuna derzler, boyuna çatlakları kontrol altında tutmak için ve kaplamanın enine yönde çarpılmalarını önlemek amacıyla yapılmaktadırlar. Boyuna derzler genellikle basınç etkisi altındadırlar. Mafsal şeklinde çalışan boyuna derzler, özellikle killi taban zemini üzerine yapılan beton kaplamalarda, yolun eksenindeki ve kenarındaki su içeriğindeki farklılıklarından kaynaklanan farklı şişme ve büzölmeleri kontrol etmektedirler. Beton yol yapılırken, beton plak yarım enkesit genişliğinde iki ayrı plak olarak dökülüyorsa bu plaklar arasında kendiliğinden bir boyuna derz oluşmaktadır. Beton yol tüm enkesit genişliğinde tek bir plak olarak dökülüyorsa boyuna derz, yalancı derz olarak kesiti zayıflatarak düzenlenir. Boyuna derzlerde bağlantı demirleri kullanılmaktadır. Bağlantı demirlerinin görevi kaplama plaklarının birbirlerinden ayrılmasını ve trafik etkisi altında birbirine göre ileriye kaymalarını önlemektir. Boyuna derzlerde yük aktarımı, agrega kenetlenmesi ve kaplamanın birbirine olan teması ile sağlanmaktadır. T.C. Karayolları Beton Yollar Teknik Şartnamesi'ne göre, genişliği 4 metreden daha fazla olan kaplamalarda bir, 9 metreden fazla olan kaplamalarda ise, iki tane boyuna derz yapılması gerekmektedir [6].

3.3. Beton Yollarda Kullanılan Malzemeler

Beton yollarda kullanılan malzemeler temel olarak beton, çelik donatı, kür malzemeleri ve derz dolgu malzemeleri olarak sıralanabilir.

3.3.1. Beton

Beton, en basit ifadeyle, agrega ve agrega ile bağ kuran ve yapıştırıcı özellikte olan çimento, su ve havadan oluşan çimento hamuru karışımıdır. Bunun yanı sıra, çimento özelliklerine sahip tamamlayıcı malzemeler (supplementary cementitious materials-SCMs) ve kimyasal katkılar gibi malzemeler de karışıma eklenebilmektedir. Kaplama yapımı sırasında, yapıya kayma demiri, bağlantı demiri ve donatı da eklenmekte ve beton yüzeyine kür maddeleri de uygulanmaktadır. Bütün bu malzemeler, hem taze hem de sertleşmiş betonun davranışını etkilemektedir [11]. Betonu oluşturan malzemelerin hacimsel dağılımı Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Hacim yüzdelerine göre en temel beton bileşenleri [11].

3.3.1.1. Çimento

Çimento, su ve havadan oluşan çimento hamuru; betondaki agregaları birbirine bağlayan malzemedir. Agregaların beton hacminin büyük bir bölümünü oluşturmalarına rağmen, çimento taze ve sertleşmiş betonun davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Portland çimentosu betonda kullanılan en yaygın çimentodur. Çimento özelliklerine sahip tamamlayıcı malzemelerden uçucu kül ve yüksek fırın cürufu da kaplama betonu karışımlarında kullanılmaktadır. Portland çimentosu yüksek oranda kalsiyum silikat ve daha düşük oranda kalsiyum alüminattan oluşmaktadır. Portland çimentosu, miktarları belli olan öğütülmüş silisli malzeme (şıst) ve kalkerli malzemenin (kireçtaşı) 1400 °C’ye varan sıcaklıklarda ısıtılması sonucunda üretilmektedir. Bu işlem sonucunda yaklaşık 25 mm çapında küresel

şekilde olan, klinker adı verilen malzeme üretilmektedir. Klinker daha sonra alçıtaşı ile birlikte öğütülerek, toz formunda bilinen portland çimentosu üretilir. Katkılı çimento ise, portland çimentosu veya portland çimentosu klinkerinin uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi tamamlayıcı malzemeler ya da diğer puzolanlarla birlikte öğütülmesi veya karıştırılması sonucunda üretilmektedir. Katkılı çimentolar portland çimentosunun kullanıldığı bütün beton uygulamalarında kullanılmaktadır [11]. Çizelge 3.1’de ASTM (American Society for Testing and Materials - Amerikan Malzeme ve Test Kurumu) ve AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials - Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma Görevlileri Birliği) standartlarına göre portland çimentosu sınıflandırılması gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Portland çimentosu sınıflandırması (ASTM C150/AASHTO M85) [11].

Tip	Tanımlama
I	Normal
II	Orta derecede sülfat dayanıklılığı
III	Erken yüksek dayanım
IV	Düşük hidratasyon ısısı
V	Yüksek sülfat dayanıklılığı

Puzolanlar

Çimentoda uygun puzolanların, uygun miktarlarda bilinçli olarak kullanılması, birçok teknik, çevresel ve ekonomik fayda sağlamaktadır. ASTM C 618’e göre puzolanlar, kendi başına bağlayıcı özelliği olmayan, fakat öğütüldüklerinde nemli ortamlarda kireç ile birleşerek bağlayıcı özellik gösteren silisli ya da silisli-alüminli yapay ya da doğal inorganik maddeler olarak tanımlanmaktadır. Puzolanlar yapay ve doğal olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır. En çok bilinen yapay puzolanlar, çeşitli endüstrilerin atık malzemeleri olan uçucu kül, endüstriyel cürufur ve silis dumanıdır. Doğal puzolanların hemen hemen tamamı volkanik kökenli malzemelerdir ve doğal puzolanlar, jeolojik olarak yakın dönemlerde volkanik aktivitelerin meydana geldiği bölgelerde bulunmaktadır [14].

Doğal puzolanlar

Doğal puzolanların ilk türü volkanik kayalardır. Bu tür malzemeler volkanik patlamalar sonucunda atmosfere atılan erimiş magma parçacıklarından oluşmaktadır.

Bu grupta gevşek yapılı kayaçlardan olan riyolit ve sıkı yapılı kayaçlardan olan tüf yer almaktadır. Doğal puzolanların diğer bir türü de tortul kayaçlardır. Killer ve diatomitli topraklar tortullaşmayla oluşan puzolanik malzemelerdir. Bunun yanı sıra hammadde olarak puzolanik özellik göstermeyen kil ve şeyl malzemeleri, 700 °C ile 900 °C arasında ısıtılarak işlenerek kalsine olurlar ve puzolanik özellik kazanırlar. Kireç-doğal puzolan tepkimesi aynı şekilde portland çimentosu-doğal puzolan karışımlarında da görülmektedir. Bilindiği üzere, portland çimentosunda bulunan C_3S (trikalsiyum silikat) ve C_2S (dikalsiyum silikat) minerallerinin hidrasyonu ile $Ca(OH)_2$ (kalsiyum hidroksit) açığa çıkmakta ve gözeneklerde çözelti halinde birirmektedir. Dolayısıyla, portland çimentosunun katkısıyla ortaya çıkan $Ca(OH)_2$ puzolanlarla birleşerek dayanım kazanımını sağlayan C-S-H (hidrate kalsiyum silikat jeli) vererek, betonun dayanıklılığını olumlu yönde etkilemektedir. Puzolanik çimento üretimi iki şekilde yapılabilmektedir. Doğal puzolan, portland çimentosu klinkeri ve alçıtaşı birlikte öğütülerek üretim yapılabildiği gibi, klinker ve alçıtaşı ayrı, doğal puzolan ayrı öğütülerek elde edilen iki malzemenin karıştırılması yoluyla da üretim yapılabilmektedir [14].

Yapay puzolanlar

Yapay puzolanların en çok bilinen türleri uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanıdır.

Uçucu kül, termik santralde pulverize kömürün yanması sonucunda oluşan baca gazları ile taşınarak siklon veya elektrofiltrelerde toplanmakta olan önemli bir yan üründür. Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen ergimiş malzeme soğuyarak, gaz akışı ile kısmen veya tamamen küresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Bu kül tanecikleri çok küçük olduğundan, baca gazları ile sürüklenmeleri nedeniyle, uçucu kül olarak tanımlanmaktadırlar. Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO olup, bu bileşenlerin miktarları uçucu külün tipine göre değişmektedir. Uçucu kül genellikle çimentodan daha ince taneli olarak elde edilmektedir. Dolayısıyla, ilave öğütme gerektirmeden kullanılabilir. Uçucu küller ASTM C 618 standardına göre F ve C olarak iki gruba ayrılmaktadır. F sınıfı uçucu küllerde CaO oranı % 10'un altında olduğundan düşük kireçli olarak da adlandırılmaktadırlar. F sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğe sahiptirler. C sınıfı uçucu küllerde ise, CaO oranı % 10'dan fazla olduğundan, bu küller yüksek kireçli olarak da tanımlanmaktadırlar. C sınıfı uçucu

küller, puzolanik özelliğın yanı sıra hidrolik özelliğē de sahiptirler. Uçucu küller, ince ve küresel taneleri sayesinde taze betonda işlenebilmeyi artırır, ayrıca hidratasyon ısını azaltır. Uçucu kül, çimento hidratasyonu sonucu oluşan kireçle reaksiyona girerek ek bağlayıcı jel oluşturarak, çimento hamurundaki boşlukları doldurmakta ve betona dayanıklılık kazandırmaktadır [15].

Cüruflar ise çeşitli metalürji tesislerinden elde edilen atık madde gruplarından birisidir. Kimyasal bileşimleri ve özellikleri elde edildikleri sanayi kuruluşlarının ürettiğı ana ürün tipine ve üretim yöntemine bağılı olarak farklılıklar göstermektedir. Örneğın, yüksek fırın cürufları hidrolik özellik gösterirken, nikel ve bakır cürufları puzolanik özellik göstermektedirler. Tüm cüruflar arasında en önemli olanı ve en yaygın kullanılanı yüksek fırın cürufudur. Yüksek fırın cürufu, ham demir üretiminde atık malzeme olarak elde edilmekte ve fırınlarda daha hafif olmasından dolayı, ham demirin üstünde yer almaktadır. Yüksek fırın cürufunun oluşum sıcaklığı 1400-1600 °C'dir. Yüksek fırın cürufunun hızlı soğutma uygulaması sonucunda camsı yapıda cüruf elde edilir. Bu tür cüruflar granüle yüksek fırın cürufu olarak adlandırılmaktadırlar. Granüle yüksek fırın cürufunun kendi başına suyla reaksiyonu, portland çimentosunun hidratasyonu ile karşılaştırıldığında, oldukça yavaş gelişmektedir. Cürufu çimentolar granüle yüksek fırın cürufunun portland çimentosu klinkeri ve alçıtaşı ile birlikte veya ayrı ayrı öğütölüp karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Cürufu çimento üretiminde cüruf ve klinkerin birlikte öğütölmesi klinkerin daha ince, cürufun ise daha iri olmasına sebep olmaktadır. Ayrı öğütme sonucunda, daha ince cüruf elde etmek mümkün olmaktadır [16].

Silis dumanı, silisyum metalinin veya ferrosilisyum alaşımlarının üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin, kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu elde edilmekte olan çok ince taneli tozdur. Çok ince taneli oluşu ve gevşek birim ağırlığının azlığı nedeni ile taşıma, depolama ve harmanlama gibi işlemlerde dikkat edilmesi gerekmektedir. Silis dumanı bazı ülkelerde katkılı çimento üretiminde kullanılmakta olup, portland silis dumanlı çimento türü Avrupa ve Türkiye Standartları'nda yer almaktadır. Ayrıca, kimyasal katkı ve silis dumanı ile başka maddeleri içeren patentli karışımlar klinker ile birlikte öğütölerek, yüksek dayanımlı ve performanslı çimentolar elde edilebilmektedir. Silis dumanı katkılı çimento ve betonlar, yüksek dayanım ve dayanıklılık isteyen yerlerde kullanılmaktadır. Ağır aşınmaya maruz döşemeler ve yol kaplamaları, zararlı

kimyasallara maruz betonlar, oyulmaya ve erozyona maruz hidrolik yapılar, yüksek dayanımlı hafif betonlar, erken dayanımı yüksek beton elemanları genel uygulama alanlarındandır [17].

Çimentoların özellikleri

Kızdırma Kaybı

Ağırlığı önceden tespit edilmiş bir çimento numunesinin çok yüksek sıcaklıkta (975 ± 25 °C) kızdırılması sonucunda oluşan ağırlık kaybına, ‘kızdırma kaybı’ denilmektedir ve bu değer % cinsinden ifade edilmektedir. Yüksek sıcaklıkta kızdırılma işlemi sonucunda çimentodan uzaklaşacak maddeler, çimentoda bulunabilecek nem ve karbondioksittir. Çimentoda bulunan nemin önemli bir miktarı, havadaki nemin çimento ile birleşmesinden ve bunun sonucunda çimentonun bir kısmının zamanından önce hidrasyon yapmasından kaynaklanmaktadır. Böyle bir çimentonun da bağlayıcılık özelliği azalmaktadır. Üretim sırasında klinkerle birlikte öğütülen alçıtaşı’nın yapısında bulunan sudan da bir miktar nem oluşmaktadır. Kızdırma kaybı, çimentonun uygun koşullarda saklanmadığını ya da uzun süre bekletilmiş olduğunu ortaya koymaktadır. ASTM standartlarına göre normal portland çimentosundaki kızdırma kaybı % 3’ü geçmemelidir [18].

İncelik ve özgül yüzey

Belirli bir ağırlıktaki klinker ve alçıtaşı ne kadar ince taneli olarak öğütülürse, üretilen çimento tanelerinin yüzeylerinin toplamı o derecede artış göstermektedir. Bunun sonucunda ise su ile temas eden tanelerin yüzeyi daha fazla olmakta ve kimyasal reaksiyonlar daha hızlı ve daha iyi gerçekleşmektedir. İncelik terimi, çimentodaki tanelerin ortalama boyutunu ifade etmektedir. Çimentonun sahip olduğu inceliği belirleyebilmek için kullanılan değişik deney yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın olanı, Blaine aleti denilen bir cihaz yardımıyla çimentonun sahip olduğu özgül yüzeyin tespit edildiği yöntemdir. Bu yöntemle elde edilen incelik değeri cm^2/g cinsinden ifade edilmektedir. ASTM’ye göre, portland çimentosunun sahip olması gereken Blaine incelik değerinin $2800 \text{ cm}^2/\text{g}$ değerinden az olmaması gerekmektedir [18].

Priz alma süreleri

Çimentonun su ile birleştirildiği an ile çimento hamurunun katılarak plastik özelliğini kaybettiği an arasında geçen süre ‘priz alma süresi’ olarak

tanımlanmaktadır. Priz alma süresi, priz başlama ve priz sona erme süresi olarak ayrı ayrı ifade edilmektedir. Priz başlama süresi, çimentoyla suyun birleştirildiği an ile çimento hamurunun fiziksel değişiklik gösterek katılaşmaya başladığı an arasındaki süre olarak tanımlanmaktadır. Priz sona erme süresi ise, çimento ve suyun birleştirildiği an ile çimento hamurunun katılaştığı an arasında geçen süredir [18].

Özgöl ağırlık

Herhangi bir maddenin özgül ağırlığı, maddenin yoğunluğunun suyun yoğunluğuna oranı olarak tanımlanır. Metrik sistemde, maddenin yoğunluğu, g/cm^3 veya t/m^3 cinsinden ifade edilmektedir. Suyun yoğunluğu ise, 1 g/cm^3 veya 1 t/m^3 'dür. Bu nedenle, sayısal değer olarak, bir maddenin özgül ağırlığı, o maddenin yoğunluğuna eşit olmaktadır. Özgül ağırlık birimsiz olarak ifade edilmektedir. Portland çimentosunun özgül ağırlığı 3.10-3.15 kadardır [18].

Çizelge 3.2'de Tip I çimentosuna ve bazı puzolanlara ait kimyasal bileşim değerleri ile bazı özelliklerinin değerleri gösterilmiştir. Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te sırasıyla puzolanların taze ve sertleşmiş betonun özellikleri üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : Tip I çimentosunun ve bazı puzolanların kimyasal bileşim ve seçilen bazı özellik değerleri [11].

	Tip I çimentosu	F sınıfı uçucu kül	C sınıfı uçucu kül	Granüle yüksek fırın cürufu	Silika dumanı
Silika (SiO_2), %	22.00	52.00	35.00	35.00	90.00
Alümin (Al_2O_3), %	5.00	23.00	18.00	12.00	0.40
Demir oksit (Fe_2O_3), %	3.50	11.00	6.00	1.00	0.40
Kalsiyum oksit (CaO), %	65.00	5.00	21.00	40.00	1.60
Sülfat (SO_4), %	1.00	0.80	4.10	9.00	0.40
Sodyum oksit (Na_2O), %	0.20	1.00	5.80	0.30	0.50
Potasyum oksit (K_2O), %	1.00	2.00	0.70	0.40	2.20
Kızdırma kaybı, %	0.20	2.80	0.50	1.00	3.00
Blaine incelik değeri, m^2/kg	350.00	420.00	420.00	400.00	20,000.00
Bağıl yoğunluk	3.15	2.38	2.65	2.94	2.40

Çizelge 3.3 : Pozolanların taze beton özellikleri üzerindeki etkisi [11].

	F sınıfı uçucu kül	C sınıfı uçucu kül	Granüle yüksek fırın cürufu	Silika dumanı
Su ihtiyacı	↓ ↓	↓ ↓	↓	↑ ↑
İşlenebilirlik	↑	↑	↑	↓ ↓
Terleme ve segregasyon	↓	↓	↕	↓ ↓
Hava içeriği	↓ ↓ *	↓ *	↓	↓ ↓
Hidratasyon ısısı	↓	↕	↓	↔
Priz süresi	↑	↕	↑	↔
Pompalanabilirlik	↑	↑	↑	↑
Plastik rötre çatlağı	↔	↔	↔	↑
↓: Azaltır ↓ ↓: Önemli ölçüde azaltır ↕: Etkisi değişmektedir	↑: Artırır ↑ ↑: Önemli ölçüde artırır ↔: Önemli değişiklik yok		* Etki, uçucu külün karbon içeriği, alkali içeriği, inceliği ve diğer kimyasal özelliklerine göre değişmektedir.	

Çizelge 3.4 : Pozolanların sertleşmiş beton özellikleri üzerindeki etkisi [11].

	F sınıfı uçucu kül	C sınıfı uçucu kül	Granüle yüksek fırın cürufu	Silika dumanı
Erken dayanım	↓	↔	↓	↑ ↑
Uzun süredeki dayanım	↑	↑	↑	↑ ↑
Su geçirgenliği	↓	↓	↓	↓ ↓
Klor etkisine dayanıklılık	↓	↓	↓	↓ ↓
Alkali-silika reaktifliği	↓ ↓	↕	↓ ↓	↓
Sülfat etkisine dayanıklılık	↑ ↑	↕	↑ ↑	↑
Donma-çözülme dayanıklılığı	↔	↔	↔	↔
Aşınma direnci	↔	↔	↔	↔
Kuruma büzülmesi	↔	↔	↔	↔
↓: Azaltır ↓ ↓: Önemli ölçüde azaltır ↕: Etkisi değişmektedir	↑: Artırır ↑ ↑: Önemli ölçüde artırır ↔: Önemli değişiklik yok			

3.3.1.2. Agregalar

Agregalar, beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan, kum, çakıl, kırmataş gibi daneli malzemelerdir. Beton hacminin yaklaşık % 60-75'ini agregalar oluşturmaktadır. Çimento hamuru ile karşılaştırıldığında, agregalar genellikle kimyasal açıdan daha kararlı ve hacim değişikliklerine karşı daha az yatkındır. Beton yapımında kullanılan temel malzemeler (çimento, su, agregalar) içinde en pahalı olan malzeme çimentodur. Agreganın maliyeti, çimento maliyetine göre çok düşük olmaktadır. Hem maliyet, hem de hacim değişikliği ve kimyasal açıdan daha kararlı bir beton karışımı elde etmek için, istenilen beton özelliklerini elde etmek koşuluyla, agregalar hacmini olabildiğince arttırmak ve çimento hacmini azaltmak, istenen bir durumdur. Yol kaplaması betonunda kullanılan agregalar temiz, sert, dayanımı yüksek ve hidrasyonu ve çimento hamuru ile arasındaki bağı etkileyebilecek kil ve diğer ince taneli maddelerden arınmış olmalıdır [11,18].

Agregaları değişik şekillerde sınıflandırmak mümkün olabilmektedir. Sınıflandırma işlemi, agregaları daha iyi tanımlayabilmek ve değişik agregalar tiplerinin betonda daha doğru bir biçimde kullanılmasını sağlamak için yapılmaktadır. Agregalar, kaynağına göre doğal ve yapay olarak sınıflandırılmaktadırlar. Doğal agregalar, nehir yatakları, deniz ve göl kenarları, taş ocakları gibi doğal kaynaklardan elde edilmiş fakat konkasörde kırma, eleyerek ayırma ve yıkama işlemleri dışında, doğadaki yapılarında değişiklik yaratacak bir işlem uygulanmamış agregalardır. Yapay agregalar, beton üretimi ile doğrudan ilgisi bulunmayan bir endüstri kolunda yan ürün veya atık malzeme olarak ortaya çıkan malzemelerden üretilen agregalarla, bir malzemeye ısıtma işlemi uygulanarak beton yapımında kullanılmaya uygun duruma getirilen agregaları kapsamaktadır. Agregalar, tane büyüklüğüne göre ince ve iri agregalar olarak sınıflandırılmaktadır. Türk Standartları'na göre 4.00 mm göz açıklıklı kare delikli eleklerden geçen agregalar 'ince agregalar', bu elek üzerinde kalan agregalar ise, 'iri agregalar' olarak tanımlanmaktadır. Agregalar tane şekline göre yuvarlak, köşeli, yassı ve uzun agregalar olarak ayrılmaktadır. Taneleri küresel şekilde veya küresel şekilde yakın olan agregalar yuvarlak agregalar olarak tanımlanmaktadır. Nehir yataklarından elde edilen çakıllar genellikle bu şekildedir. Tanelerinin yüzeyinde kırılma işlemi nedeniyle köşeler bulunan agregalar, köşeli agregalar sınıfına girmektedir. Yassı agregalar, iki boyutu geniş fakat yüksekliği çok az olan agregalardır. Uzun agregalar ise, iki boyutu dar fakat yüksekliği fazla olan agregalardır. Yassı veya

uzun daneler, beton agregaları için, şekilce kusurlu olarak tanımlanmaktadırlar. Agregalar jeolojik orijinlerine göre de sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırmaya göre agregaları volkanik, tortul ve metamorfik olarak ayırmak mümkündür [18].

Şekil 3.10’da köşeli ve nehir yatağından elde edilen agregalar arasındaki fark gösterilmektedir.



Şekil 3.10 : Kırma taş agregası (solda) köşeli şekilli ve nehir yatağından elde edilen agregası (sağda) daha köşeli şekilli [11].

Agrega özellikleri

Agrega gradasyonu

Gradasyon, agregası danelerinin büyüklüklerine göre dağılımının bir ölçüsüdür ve agregası danelerinin farklı boyutlardaki eleklerden geçen yüzdelilerine göre hesaplanmaktadır [11]. ASTM C 33’e göre 4 no’lu elek (4.75 mm) üzerinde kalan agregalar iri, bu elekten geçenler ise ince agregası olarak tanımlanmaktadır. İri ve ince agregayı ayıran elek boyutu Türk Standartı’na göre 4.00 mm göz açıklıklı elek, ASTM’ye göre 4.75 mm göz açıklıklı elektr [18].

Beton yapımında iyi gradasyonlu agregası tercih edilmelidir, bu da agregasının değişik boyutlarda dengeli olarak dağılmış olmasını gerektirir. Daha önce de açıklandığı gibi, istenen beton özelliklerini sağlamak koşuluyla, agregası hacmi olabildiğince yüksek tutulmalıdır. İyi gradasyonlu bir agregada da ince daneler, iri daneler arasındaki boşlukları dolduracağından, hacim maksimize edilmiş olur. Ayrıca, karışımında kullanılacak su genellikle agregası özelliklerinden etkilenmektedir. Betonun işlenebilir olması için, beton karışımı her agregası danesini kaplayabilecek kadar yeteri çimento hamurunu içermelidir. Fakat çimento hamurundaki su miktarının fazla olması da su geçirgenliğinin artmasına ve dayanımın azalmasına sebep olarak,

betonun uzun süreli dayanıklılığını etkilemektedir. Bu sebeple, optimum su içeriğini elde etmek son derece önemli olmaktadır. Ayrıca iyi gradasyonlu agregadan oluşmuş karışımlar, genellikle su geçirgenliğine ve büzölmeye karşı daha az yatkın olmakta ve en ekonomik seçim olmaktadır. Kesik gradasyonlu agreganın kullanılması betonda segregasyona sebep olmakta ve yeterli işlenebilirliği elde etmek için daha fazla su gerektirmektedir [11].

Agrega dane şekli

Kaplama betonunda kullanılan köşeli agrega daneleri, agrega kenetlenmesinden dolayı daha yüksek eğilme dayanımı sağlamaktadır. Köşeli ve cilalanma özelliği olmayan ince taneli agregalar, işlenebilirliği azaltmalarına rağmen, kayma direncinin yüksek olmasını sağlamaktadırlar [11].

Agrega durabilitesi

Beton yolların ekonomik açıdan uygun bir tercih olarak görülmesinin bir sebebi de diğer kaplama türlerine göre daha uzun ömürlü olmalarıdır. Bu sebeple yeni yapılacak bir kaplamanın mümkün olduğu kadar dayanıklı olduğundan emin olmak önemlidir. Kaplama dayanıklılığını etkileyecek bazı agrega özellikleri, alkali-agrega reaktivliğini, don dayanıklılığını ve aşınma direncini kapsamaktadır [11].

Reaktif silika veya reaktif karbonat içeren bazı agregalar, zamanla, betonun içerisindeki alkalilerle reaksiyona girebilmekte ve çok büyük genleşmelere yol açabilmektedir. Bunun sonucunda da agregada ve betonda çatlaklar oluşabilmektedir. Opalinli çöltler, kalkedonik çöltler, kuvarsik çöltler, silisli kalkerler, silisli domitler, andezitler ve tüfleri ve silisli şeyller reaktif silika içeren kaya türleridir. Betonun içerisindeki alkaliler, genellikle betonda kullanılan çimentonun içerisinde bulunan alkalilerden (Na_2O ve K_2O) oluşmaktadır. Beton yapımında kullanılacak agreganın mümkün olduğu kadar reaktif silika içermemesi gerekmektedir. Kullanılan çimentodaki sodyum oksit ve potasyum oksit miktarının da standartlardaki değerden fazla olmaması gerekmektedir [18].

Don dayanıklılığı olmayan agregalardan oluşan bir betonda D – çatlakları, açılmalar (popout) veya eritici tuzdan kaynaklanan bozulmalar oluşabilir. İri boşluklu yapıya sahip agrega daneleri, donma-çözölme etkisine karşı hassas olabilmektedirler. Bu daneler suya doygun hale geldiği ve donduğu zaman, genişleyen su gözeneklerde tutulur ve dışarı çıkamaz. En sonunda, agrega daneleri genişleyen suyun yaptığı

basınca uyum sağlayamaz ve daneler çatlar ve bozulma başlar. Dona hassas olan agreganın önemli ölçüde kullanıldığı betonlarda, oluşan bu donma-çözülme bozulması, beton döşemede D-çatlama olarak adlandırılan çatlakların oluşmasına sebep olur. D-çatlakları kolay bir şekilde belirlenebilmektedir. D-çatlakları, agreganın en çok doymuş hale gelebileceği boyuna ve enine derzlere paralel yerlerde oluşmaktadır. D-çatlağı, betonun bütünlüğünü riske atabilecek önemli bir problemdir. Bu sebeple, karışım tasarlanırken, donma-çözülme hassasiyeti olmayan agregaların seçilmesi gerekmektedir. Bu tür agregaların kullanılması durumunda maksimum dane büyüklüğünü azaltarak ve iyi bir drenaj sağlayarak, D-çatlağı problemi azaltılabilir [11].

Açılma (popout) ise, genellikle beton yüzeyinden kopan konik bir parça ve bu parçanın yüzeyde derin olmayan konik bir çukur açması olarak tanımlanabilir. Açılmaların birçoğu 25 ile 50 mm arasında değişen genişliktedirler. Buna rağmen, kum tanelerinin sebep olduğu açılmalar daha küçük olmakta ve çok büyük açılmaların çapı 300 mm'ye kadar çıkabilmektedir. Çok büyük olmadığı sürece, açılmalar sadece estetik bir kusur olmakta ve genellikle betonun servis ömrünü etkilememektedir. Açılmalar, betonda yüzeyin, yüksek gözeneklilik değerine ve orta boyutlu gözeneklere sahip ve kolayca doymuş hale gelebilen iri agreganın az miktarda bulunduğu yerlerde meydana gelmektedir. Önemli miktarda şeyl, yumuşak ve gözenekli malzeme içeren agregalar ve belli çört tipleri açılma olayına yatkındır [11]. Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de sırasıyla açılma ve D-çatlağı olayı gösterilmiştir.



Şekil 3.11 : Beton yüzeyindeki bir açılma [11].



Şekil 3.12 : D-çatlakları [11].

Kaplamaların bir diğer önemli özelliği de aşınmaya karşı koyarak, yeterli kayma direnci sağlamaktır. Betonun aşınma dayanıklılığı, hem agregası tipi hem de betonun basınç dayanımıyla ilgilidir. Sert agregası kullanılarak yapılmış yüksek dayanımlı bir beton, aşınmaya karşı oldukça dirençlidir. Agregasının aşınma direnci, agregasının kalitesi hakkında genel bir gösterge olarak kullanılabilir. Aşınmaya karşı direnci az olan agregaların kullanılması, betonda ince danelerin artmasına ve karıştırma sırasında su ihtiyacının artmasına neden olabilir. Genellikle silisli agregalar, kalkerli agregalara göre aşınmaya daha dayanıklıdır [11].

3.3.1.3. Su

Bilindiği üzere, çimento ve agreganın yanı sıra, betonu oluşturan bir diğer temel malzeme de sudur. Beton malzemelerinin karılmasında kullanılan karışım suyunun iki temel görevi bulunmaktadır. Bunlardan ilki, çimento ile birleşerek hidrasyonun gerçekleşmesini sağlamaktır. Diğer ise, karılma işleminde agregası ve çimento tanelerinin yüzeyini ıslatarak taze betonda istenen işlenebilmeyi elde etmektir. Beton üretiminde kullanılacak karışım suyunun kalitesi ve miktarı, betonun özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Beton karışımında kullanılacak sudaki kalsiyum klorür, sodyum klorür, magnezyum klorür, sodyum sülfat, magnezyum sülfat, demir

tuzları, sodyum hidroksit, potasyum hidroksit, alkali karbonatlar ve bikarbonatlar, şeker, yağ gibi yabancı maddelerin kabul edilebilir miktarda olması gerekmektedir. Beton karışımında kullanılacak suyun içinde istenmeyen miktarlarda yabancı maddelerin bulunması durumunda, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonların hızı ve hidratasyonun ne derecede gerçekleşeceği bundan etkilenmektedir. Bunun sonucunda da taze betonun priz süresi, sertleşmiş betonun dayanımı ve dayanıklılığı etkilenebilmektedir. Genel bir tanıma göre içilebilir sular, beton karışımında kullanılmaya uygun olarak görülmektedir [18].

3.3.1.4. Katkı maddeleri

Beton karışımını oluşturmak üzere kullanılan temel malzemelere (çimento, agrega ve su) karılma işleminden hemen önce veya karılma işlemi sırasında karışımın içerisine katılan malzemeler, beton katkı maddesi olarak ifade edilmektedir. Bu maddeler, betonun bazı özelliklerini değiştirerek performansını arttırabilmek ve/veya betonun daha ekonomik olabilmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Çeşitli amaçlarla kullanılmak üzere, değişik malzemelerden üretilmiş birçok katkı maddesi bulunmaktadır. Beton karışımında kullanılan katkı maddeleri genellikle şu amaçlar için kullanılmaktadır:

- Karışım suyu ihtiyacını azaltmak,
- Taze betonun priz süresini uzatmak veya kısaltmak,
- Betonun dona karşı dayanıklılığını arttırmak,
- İşlenebilirliği arttırmak,
- Sertleşmiş betonun dayanımını ve dayanıklılığını arttırmak,
- Su geçirgenliğini azaltmak [18].

3.3.2. Donatı

Beton yollarda donatı kullanılması, betonun çekme dayanımının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bilindiği üzere betonun çekme dayanımı basınç dayanımına göre çok düşük seviyelerde kalmaktadır. Bu sebeple, beton yolda donatı kullanmak, betonun çekme gerilmelerini taşıyabilmesini sağlar ve döşemede çatlakların büyümesini önlemeye yardımcı olur. Derzli beton kaplamalarda çatlak kontrolü genellikle, derzler arasındaki mesafeyi kısa tutarak sağlanmaktadır. Kaplamada donatı kullanılması durumunda, derz aralıkları arttırılabilmektedir. Beton yollarda donatının kullanıldığı diğer alanlar ise kayma demiri ve bağlantı demirlerinin

kullanıldığı yerlerdir. Kayma demirleri, beton yolda enine derzler arasına yerleştirilirler ve derzler arasında yük aktarımını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Kayma demirlerinin yüzeyleri düz (nervürlü) olmalıdır. Yüzeylerinin düz olması sayesinde derzlerde, mevsimsel genleşmelere ve döşemedeki büzölmelere bağlı olarak gelişen döşemenin yatay hareketlerini kısıtlamazlar. Kayma demirlerinin çapı için tavsiye edilen değer döşeme kalınlığının yaklaşık 1/8'i kadardır. Kayma demiri çapının 25 mm ve daha düşük olduğu, ağır taşıt trafiğine maruz beton kaplamalarda, kayma demirlerinin bulunduğu yere yakın bölgelerde, betonda yüksek eğilme gerilmelerinin oluştuğu görülmüştür. Kayma demirlerinin tipik uzunluk değeri ise 455 mm ve bazen de 380 mm olmaktadır. Bu uzunluk esasında derzin her iki tarafında uygulanacak gömme derinliği ile ilgilidir. Kayma demirleri arasındaki mesafe için önerilen standart değer 305 mm olmakla birlikte, hafif trafiğe hizmet verecek kaplamalarda bu mesafe 380 mm olarak da uygulanabilir. Bağlantı demirleri ise, boyuna derzler arasına yerleştirilen demirlerdir ve amaç yanal hareketleri önlemektir. Bağlantı demirlerinin hareketi engelleyebilmeleri için nervürlü olmaları gerekmektedir. Bağlantı demirinin çapı, boyu ve aralığı kaplama kalınlığına, kullanılacak malzemeye ve bağlanacak beton plak uzunluğuna göre değişebilmektedir. Bağlantı demirinin uzunluğu 800 mm'den fazla ise, bağlantı demirleri 450 mm aralıklarda yerleştirilmelidir [11].

3.3.3. Kür malzemeleri

Betonun özellikle de ilk günlerde, yeteri kadar hidrasyon yapabilmesini sağlamak amacıyla, betonun içerisinde yeterli miktarda su ve sıcaklığın bulundurulması ve bu koşulların korunması işlemine, betonun kürü veya betonun bakımı denmektedir [18].

Kür bileşenleri, beton dökme ve yüzey pürüzlendirme işlemleri sona erdikten sonra, beton yüzeyine ve açıkta bulunan kenarlara uygulanmaktadır. Çimento hidrasyonu, yavaş gelişen bir kimyasal reaksiyondur. Beton yüzeyinin zamanından önce kuru bırakılması, reaksiyonun durmasına sebep olur ve beton yüzeyinde, betonun arzu edilen dayanıklılık, dayanım gibi özelliklerinin beklenenden daha kötü olması sonucunu doğurur. Uygun bir kür işlemi yüzeyin geçirgenliğini azaltır ve yüzey direncini hava koşullarına ve aşınmaya karşı artırır. Kür işlemi, taze beton yüzeyi kurumaya başlamadan, doğru bir şekilde uygulanmalıdır. Aksi takdirde, yapılacak işlemin bir faydası olmamaktadır [11].

Kür yöntemleri çeşitli amaçlar doğrultusunda değişebilmektedir. Bunlardan ilki, beton yüzeyinin ıslak kalmasını sağlamak amacıyla uygulanan yöntemlerdir. Bu yöntemler, beton yüzeyinin tamamen su altında kalmasını sağlayarak, beton yüzeyine su serpiştirerek ve beton yüzeyine serilen ıslak malzemelerle uygulanabilmektedir. Diğer bir metot ise, beton yüzeyini bir membran ile örtterek, buharlaşmayı önlemeye yöneliktir. Bu yöntem ise, beton yüzeyine plastik malzeme veya su geçirmeyen örtüler örtterek veya beton yüzeyine parafin esaslı kimyasal maddeler, reçineler gibi sıvı kimyasal maddeler uygulayarak gerçekleştirilmektedir [18].

3.3.4. Derz dolgu malzemeleri

Derzlerin yolun sürekliliğini bozmaları sebebi ile bu kusuru ortadan kaldırmak için doldurulmaları gerekmektedir. Derz dolgu malzemelerini iki kısımda incelemek mümkündür.

3.3.4.1. Alt dolgu malzemesi

Alt dolgu malzemeleri sadece genişleme derzlerinde kullanılırlar ve beton dökülürken yerleştirilirler. Amaç, beton plaklar arasında istenen mesafenin bırakılabilmesidir. Üzerlerine gelecek örtme karışımı için de destek olacak bu malzemeler, yumuşak tahta, su geçirmez preslenmiş plaklar ve gözenekli lastikten yapılabilirler [6].

3.3.4.2. Üst dolgu malzemesi

Derz örtme malzemesi olarak da bilinen bu malzemeler, derzin içine toz, toprak gibi maddelerin ve suyun girmesini önlemek amacıyla kullanılırlar. Bu malzemelerin betona iyi yapışabilme, çatlamadan uzayabilme yeteneği, dayanıklılık ve uzun ömürlülük gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu malzemelerin çoğu, derz üzerinden erimiş halde sıcak olarak dökülür. Lastik-bitüm karışımları, oksitlenmiş bitüm bileşikler, damıtım ürünü olan bitüm bileşikler ve reçineli bileşikler, en çok kullanılan ve en iyi sonuç veren üst dolgu malzemelerindendir [6].

3.4. Beton Kaplama Türleri

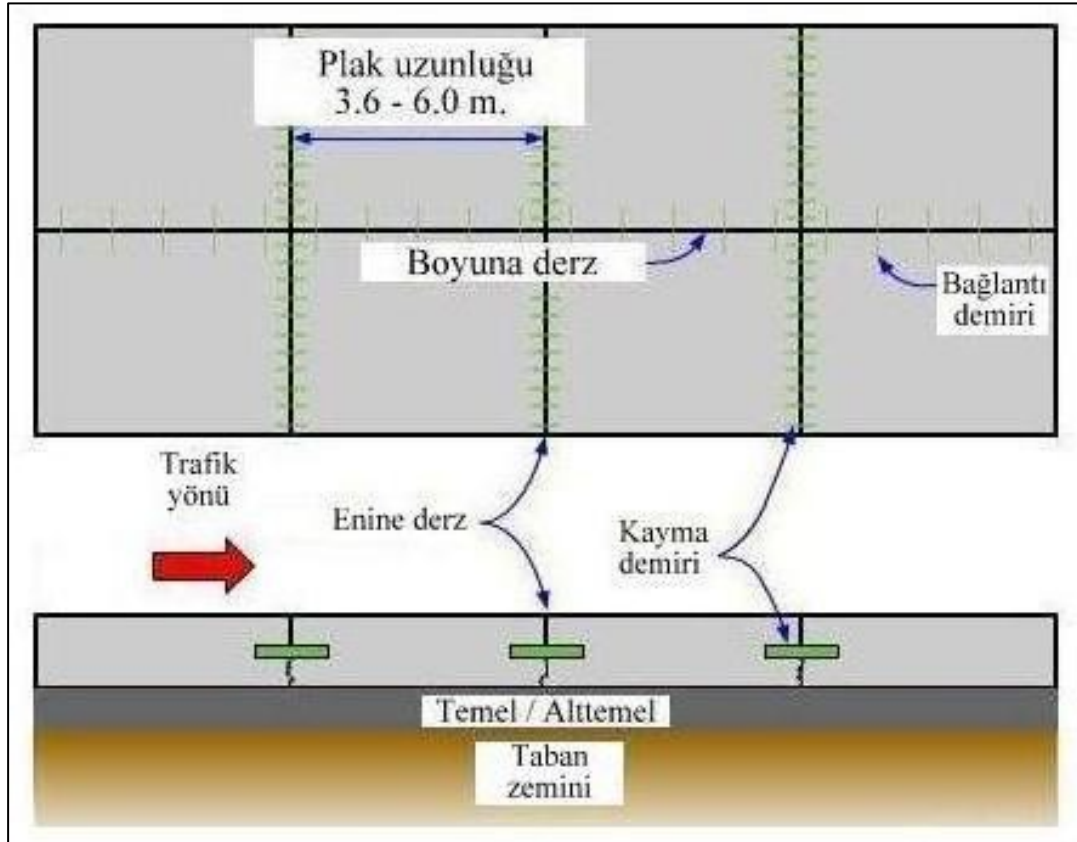
Geleneksel beton kaplama türleri denilince derzli donatısız, derzli donatılı ve sürekli donatılı beton kaplamalar olmak üzere, 3 adet beton kaplama türü olduğu anlaşılmaktadır. Öngerilmeli ve prekast beton kaplamalar geleneksel beton kaplamalarla aynı uygulamalarda kullanılmasına rağmen, geleneksel beton

kaplamalar kadar sık kullanılmamaktadırlar. Silindir ile sıkıştırılan beton kaplamalar ve geçirimli beton kaplamalar ise, genellikle park yeri ve özel endüstriyel alanları gibi uygulamalarda kullanılmaktadırlar [9].

3.4.1. Derzli donatısız beton kaplamalar

Derzli donatısız beton kaplamalar, uzunlukları 3.6 m ile 6.0 m arasında değişen ve her plaka arasında genişleme derzi bulunan donatısız beton plaklardan oluşmaktadır. Çatlakların kaplamanın hizmet ömrünün geç dönemlerine kadar plak içinde büyümesini önlemek açısından, derzler birbirlerine oldukça yakın aralıklarla yapılırlar. Bu nedenle, derzli donatısız kaplamalar için kaplamada oluşacak genişleme ve büzülme, derzler tarafından kontrol edilmektedir. Derzli donatısız kaplamalar için bir diğer önemli performans kriteri de derzler arasında yük aktarımıdır. Derzli donatısız kaplamalarda derzler arasında yük aktarımını sağlamak için agrega kenetlenmesi yöntemi ve kayma demirleri kullanılmaktadır [9].

Derzli donatısız beton kaplamaya ait plan ve kesit görüntüsü Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



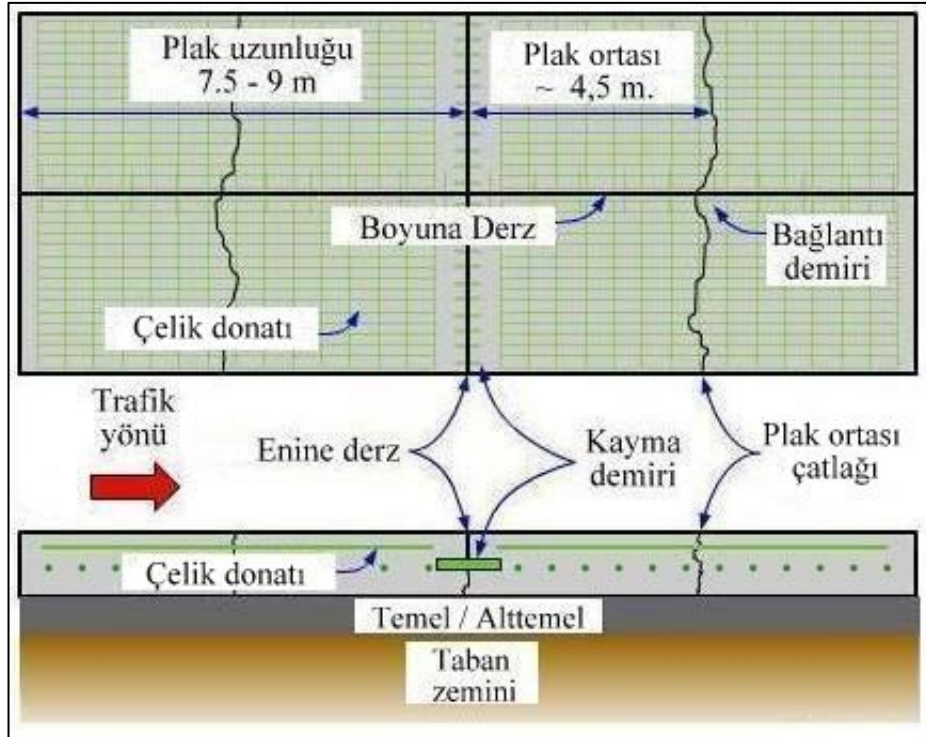
Şekil 3.13 : Derzli donatısız beton kaplamaya ait plan (üstte) ve kesit (altta) görüntüsü [13].

Kaplama ağır taşıt trafiğine maruz kaldıkça, özellikle yüksek hızlarda, agrega kenetlenmesi metodu zamanla işlemez hale gelmektedir. Bu durumda, derzler arasında yük transferini kayma demirleri sağlamaktadır. Beton kaplamalar içinde yapılması en ekonomik olanı olduğu için, derzli donatısız beton kaplamalar en yaygın olarak kullanılan beton kaplama tipidir [9].

3.4.2. Derzli donatılı beton kaplamalar

Derzli donatılı beton kaplamaların derzli donatısız beton kaplamalardan farkı, plak uzunlukların daha fazla olması ve plaklarda az miktarda da olsa donatı kullanılmasıdır. Derzli donatılı beton kaplamalarda plak uzunlukları 7.5 m ile 9 m arasında değişebilmektedir. Geçmişte 30 m uzunluğunda plakların kullanıldığı da bilinmektedir. Derzli donatılı beton kaplamalar, geçmişte yaygın bir şekilde kullanılmış olmalarına rağmen, günümüzde pek yaygın değildir. Derzli donatılı beton kaplamaların, derzli donatısız beton kaplamalara göre avantajı, daha az derz kullanılması mümkün kılmasıdır. Buna rağmen donatının getirdiği ek maliyetle birlikte, daha pahalıya mal olmaktadır [9].

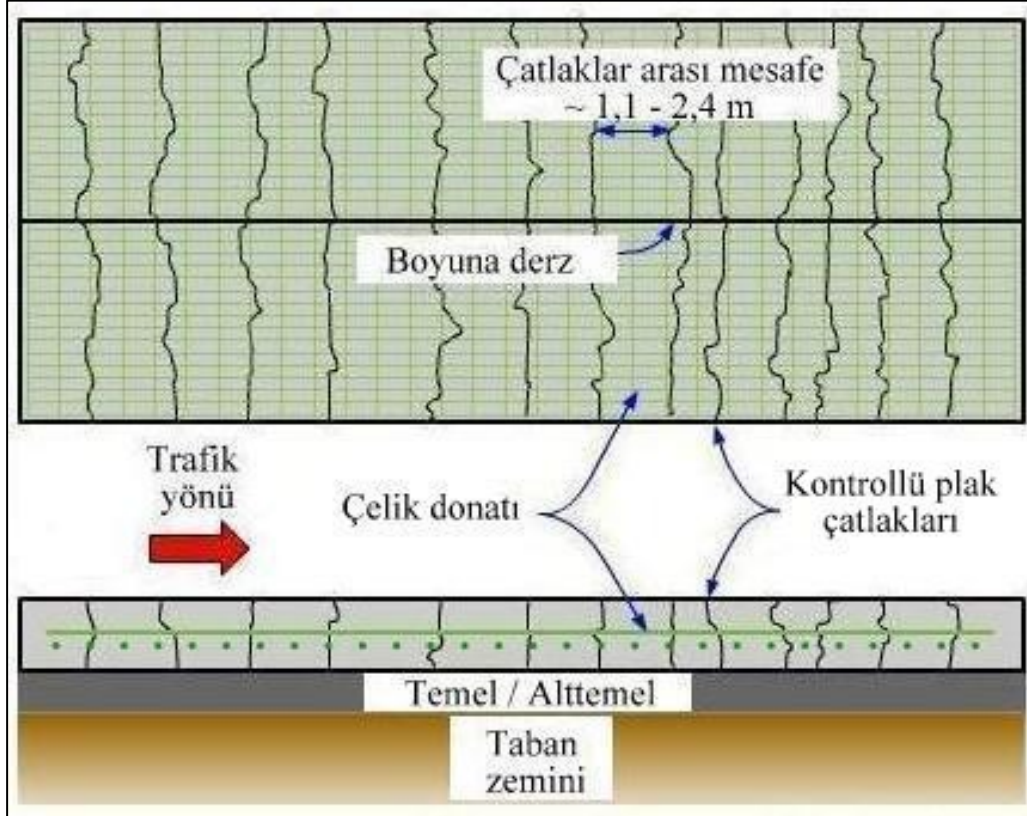
Derzli donatılı beton kaplamaya ait plan ve kesit görüntüsü Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14 : Derzli donatılı beton kaplamaya ait plan (üstte) ve kesit (altta) görüntüsü [13].

3.4.3. Sürekli donatılı beton kaplamalar

Beton kaplamaların bir diğer türü olan sürekli donatılı beton kaplamalar, enine derz kullanılmamasını gerektirmezler. Sürekli donatılı beton kaplamalarda enine çatlakların oluşmasına izin verilmekte, fakat çatlaklar donatı sayesinde bir arada tutularak fazla açılmasına izin verilmemektedir. Yapılan araştırmalar izin verilebilecek maksimum tasarım çatlak genişliğinin, parçalanma ve su girişine karşı kaplamayı koruması için, yaklaşık 0,5 mm olması gerektiğini göstermiştir. Çatlakların, genellikle 1,1 m ile 2,4 m arasında değişen mesafelerde oluşması beklenir. Donatı, kesit alanının yaklaşık olarak % 0,6-0,7'sini oluşturur ve plağın ortasına yerleştirilmektedir. 1970 ve 1980'li yıllarda sürekli donatılı beton kaplamaların tasarım kalınlığı, derzli donatısız beton kaplamaların yaklaşık olarak % 80'i kadardı. Fakat, daha ince şekilde tasarlanan bu kaplamaların önemli bir kısmında daha sonraları, beklenenden daha fazla bozulmalar meydana gelmiştir. Sonuç olarak şu andaki eğilim, sürekli donatılı beton kaplamaların da derzli donatısız beton kaplamalarla aynı kalınlıkta yapılması yönündedir [13]. Sürekli donatılı beton kaplamaya ait plan ve kesit görüntüsü Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15 : Sürekli donatılı beton kaplamaya ait plan (üstte) ve kesit (altta) görüntüsü [13].

3.5. Ülkemiz Karayollarında Beton Yol Uygulamaları

İnsanın öncelikle diğer insanlara, sonra hayati ihtiyaçlarına ve nihayetinde uygarlığa, çağdaşlığa ulaşabilmesinin ilk şartı olan yol, ülkelerin de can damarı konumundadır. Ülkelerin ekonomik ve sosyal faaliyetleri, bu can damarlarıyla doğrudan ilgilidir. Bu özelliğiyle yol, bir ülkenin kalkınmasına, toplumun sosyo-ekonomik gelişimine temel oluşturan en önemli altyapıdır. Bu sebeple de insan eliyle, insanlığa yapılan en önemli altyapı olan yollar, toplumların ileriye yolculuğuna imkan tanımaktadır. Tekerleğin bulunması medeniyet tarihinde en önemli aşamalarından birini teşkil etse de, esas önemi ulaştırma alanında ortaya çıkmıştır. Tekerlek ilk zamanlarda, zamanın en önemli aracı olarak bilinen kızığa uygulanmış, daha sonra kullanılan iki veya dört tekerlekli arabalar M.Ö. 2000 yıllarında ortaya çıkmıştır. Böylece ilk arabalar askeri ve ticari açıdan önemli rol oynamıştır. Zamanla arabalar yaygınlaşmaya başlamış, yük ve insan taşınmaya başlanmıştır. İnsanların yaptıkları ilk yollar, ancak tekerlekli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte ortaya çıkmıştır. Kuzeybatı Avrupa'nın ormanlık alanlarında, yumuşak zeminin kütüklerle takviye edilmesi ve tunç çağında, İsviçre'deki göl köylerinin kütüklerden meydana getirilmiş olan sokakları, insanların oluşturdukları ilk yollar olarak bilinmektedir. Anadolu özel konumu itibarıyla, birçok uygarlığın yerleşim yeri olmuş ve hem zaman hem de mekan olarak bir köprü görevi üstlenerek, çağlardan beri bir yollar diyarı olarak insanları, kültürleri taşımıştır. Tarihin ilk düzenli yolu olarak bilinen yol ağları M.Ö. 2000'li yıllarda Asur ve Babilliler tarafından Mezopotamya ve Suriye'de meydana getirilmiştir. Musul'dan başlayarak Urfa'ya ulaşan ve oradan da Birecik'te Fırat Nehri'ni aşarak Anadolu içlerine uzanan yol, Güneydoğu bölgemizde yapılan, dönemin önemli yollarındandır. Tarihsel süreçte Anadolu'da Hititler, Urartular, Romalılar, Bizanslılar, Selçuklular ve Osmanlı Devleti tarafından yapılan birçok yol bulunmaktadır. Türkiye Cumhuriyeti kurulduğu sırada ise, karayolu ağının, ulaşım sistemi olarak nitelendirilemeyecek ölçüde yetersiz olduğu, yük ve yolcu taşımacılığını kesintisiz sağlayabilme özelliğinden yoksun olduğu görülmektedir. Toplam 18,350 km uzunluğundaki yol ağının 13,900 km'sinin stabilize, 4,450 km'sinin ise toprak yol konumunda bulunduğu bilinmektedir. Cumhuriyetin ilk yıllarında hedeflenen ulaşım sisteminin özellikleri, öncelikle yerleşim birimleri arasındaki yolculuk süresini kısaltması, ülke içinde ulaşılamayan yerlere erişilerek atıl kaynakların kullanılabilir duruma getirilmesi, yurt savunmasına, güvenliğine ve ülke imarına hizmet edebilmesi, kültür,

sanat ve eğitimin yaygınlaşmasını sağlaması şeklindeydi. 1940'ların sonuna gelindiğinde ise, geçen süre içerisinde yapılan çalışmaların neticesinde demiryolu ağının gelişmesine rağmen karayolu ağı istenen seviyeye gelememiştir. Türkiye'de karayolları henüz dünya standartlarının gerisinde ve 1947'de km² başına düşen yol uzunluğu Almanya'da 1,240 m, Fransa'da 1,100 m, Yunanistan'da 170 m iken bu değer Türkiye'de sadece 17 m'dir. Sürdürülen yol hamlesinin daha dinamik ve daha çağdaş bir yapı içerisinde uygulamaya konulabilmesi için, 1 Mart 1950 tarihinde Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) kurulmuştur. Karayolları Genel Müdürlüğü 10 adet bölge müdürlüğü ile kurulduktan sonra, 1967'ye kadar bölge müdürlüğü sayısını 17'ye çıkararak, tekerlek dönsün ilkesiyle başlayan karayolu politikasıyla birlikte, bölge teşkilatı kurularak yurt genelinde planlama, etüt ve proje çalışmalarına başlanmıştır. Cumhuriyetin kuruluşundan sonra istenilen düzeyde bir yol ağı gerçekleştirilmesi, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün kuruluşundan sonra mümkün olabilmektedir [19]. Ülkemizde taşıma türlerine göre ulaşım sistemlerinin dağılımı Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 : Ülkemizde ulaşım sektöründe yurtiçi taşımalarının sistemlere ve yıllara göre yüzdesel dağılımı [19].

Sistem	Taşıma türü	1960	1970	1980	1990	2000	2003
Karayolu	Yolcu/km	73	91	95	94,6	95	95
	Ton/km	38	61	74	81	90	92
Demiryolu	Yolcu/km	24	8	4,5	4,5	3	3
	Ton/km	48	21	10	10	5,5	5
Denizyolu	Yolcu/km	2	0,3	0	0,1	0,2	0
	Ton/km	14	18	16	8,9	4,4	3
Havayolu	Yolcu/km	1	0,7	0,5	0,8	1,8	2
	Ton/km	0	0	0	0,1	0,2	0

Çizelge 3.5'ten de anlaşılacağı üzere, ülkemizde gerek yolcu gerek yük taşımasında karayolu özellikle de son yıllarda hakim sistem haline gelmiştir. Yol yapım maliyetlerinin son derece yüksek olduğu ülkemizde, yük taşımalarının büyük bir çoğunluğunun karayolu sistemi kullanılarak yapılması ve yasal olmayan aşırı yüklemeler, yolların hizmet vermesini güçleştirmekte, bakım giderlerini de önemli ölçüde artırmaktadır. Şüphesiz uzun mesafe yük taşımacılığının karayollarından demiryollarına kaydırılmasının gerekliliği açıktır. Ulaşım sistemleri arasında bir dengenin kurulması hem taşıma maliyetlerini hem de ağır yüklerin yol üstyapısında sebep olduğu tahribatı azaltarak, karayollarının hizmet seviyesinin yükselmesini sağlayacaktır. Çizelge 3.6'da da ülkemizdeki yol ağının yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 : Ülkemizde karayolu ağının sınıflara ve yıllara göre uzunluğu [19].

Yıl	Otoyollar (km)	Devlet yolları (km)	İl yolları (km)	Toplam (km)
1950	-	24,306	22,774	47,080
1960	-	26,711	34,831	61,542
1970	-	35,016	24,437	59,453
1980	27	31,976	28,785	60,788
1985	81	30,997	28,305	59,383
1990	281	31,149	27,979	59,409
1995	1,246	31,422	28,577	61,245
2000	1,774	31,397	29,693	62,864
2001	1,774	31,400	29,693	62,867
2002	1,851	31,376	29,929	63,156
2003	1,851	31,319	30,050	63,220
2004	1,881	31,358	30,133	63,372
2005	1,659	31,446	30,368	63,473
2006	1,775	31,371	30,568	63,714
2007*	2,041	31,335	30,429	63,805
* 2007 yılı başı bilgileridir.				

Ülkemizde karayolu ağı Çizelge 3.6'dan da görüleceği gibi özellikle 1960'lı yıllardan sonra gelişmeye başlamıştır. Ancak, diğer ülkelerle karşılaştırıldığında yol ağımızın ne konumda olduğunu görebilmek açısından Çizelge 3.7'de de bazı ülkelerin karayolu ağına ait değerler, yol sınıflandırmalarına göre verilmiştir.

Çizelge 3.7 : Bazı ülkelerin karayolu ağının sınıflara göre dağılımı [20,21].

Ülke	Otoyollar (Motorways) (km)	Devlet yolları (Main or national roads) (km)	İl yolları (Secondary or regional roads) (km)
Almanya*	12,594	40,420	178,180
Avusturya*	1,696	10,410	23,652
Belçika*	1,763	12,613	1,349
Fransa*	10,958	9,861	377,377
Hollanda*	2,582	2,430	7,899
İspanya*	13,014	12,832	140,165
İsveç*	1,806	13,519	83,131
İsviçre*	1,383	381	18,136
İtalya*	6,588	19,290	156,258
Norveç*	239	27,091	27,073
ABD**	75,435	270,402	1,658,500
Çin**	41,005	38,381	246,442
Japonya***	6,915	53,866	128,554
Meksika**	6,131	40,953	71,032
Yeni Zelanda**	171	10,724	82,565
* Bu ülkelere ait değerler [20] nolu kaynaktan alınan ve 2007 yılına ait olan değerlerdir. ** Bu ülkelere ait değerler [21] nolu kaynaktan alınan ve 2005 yılına ait olan değerlerdir. *** Bu ülkeye ait değerler [21] nolu kaynaktan alınan ve 2002 yılına ait olan değerlerdir.			

Yukarıdaki çizelgede verilen değerlerden de anlaşılacağı üzere, ülkemizde her ne kadar hakim sistem karayolu olsa da özellikle de Fransa, Almanya, İspanya gibi yüzölçüm bakımından ülkemizden daha küçük olan ülkelerde karayolu ağı oldukça gelişmiştir. Ayrıca bu ülkelerdeki otoyol uzunluklarının da fazla olması dikkat çekmektedir.

Çizelge 3.8’de ise ülkemizde karayolu ağının yüzey cinsine göre dağılımı verilmiştir. Aşağıdaki çizelgeden de görüldüğü gibi ülkemizde, bir sonraki bölümde anlatılacak olan beton yol uygulamalarının, karayolları ağına katkısı önemsizmeyecek derecede olduğundan değerlendirmeye alınmamıştır.

Çizelge 3.8 : Ülkemizde yüzey cinsine göre karayolu ağı durumu (2007) [19].

Yol sınıfı	Asfalt betonu (km)	Sathi kaplama (km)	Stabilize (km)	Geçit vermez (km)	Toprak (km)	Toplam (km)
Otoyollar	2,041	-	-	-	-	2,041
Devlet yolları	6,337	24,391	237	241	86	31,335
İl yolları	867	25,860	1,895	667	1,140	30,429

FHWA (Federal Highway Administration - Federal Karayolu İdaresi)'nin internet sitesinden edinilen bilgiye göre, ABD'de bugün kırsal kesimlerde yaklaşık 39,806 km (24,734 mil), kentsel kesimlerde de yaklaşık 44,006 km (27,344 mil) olmak üzere toplam 83,812 km (52,078 mil) beton yol bulunmaktadır. Ayrıca ülkede kırsal kesimlerde yaklaşık 94,821 km (58,919 mil), kentsel kesimlerde de yaklaşık 75,296 km (46,787 mil) olmak üzere toplam 170,117 km (105,706 mil) kompozit kaplamalı yol mevcuttur [22].

Kanada'nın Quebec eyaletinde 1,239 km'lik beton kaplamalı yol 29,000 km'lik yol ağının sadece yaklaşık % 4'ünü meydana getirirse de, bu yol eyalet trafiğinin % 75'ine hizmet etmektedir. Beton kaplamalı bu yolların büyük bir kısmı da Montreal ve çevresinde yer almaktadır. Almanya'da ise, derzli donatısız beton kaplamalar, ülkenin yüksek hacimli trafiğine hizmet eden otoyol ağının % 25'ini oluşturmaktadır. Ülke, otoyollarda uygulanacak sürekli donatılı beton kaplamalar için fazla deneyime sahip olmamakla birlikte, yapılacak beton yolların uzun süre hizmet etmesini değerlendirmektedir. Avusturya'da ilk beton yol 1925 yılında, ilk beton otoyol ise, İkinci Dünya Savaşı'ndan önce yapılmıştır. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra yapılan yüksek hacimli yollar ise, Alman otoyollarında kullanılan model dikkate alınarak, beton olarak yapılmıştır. 1980'li yıllarda bitümlü kaplama teknolojisi hızlı bir şekilde gelişse de, 1990'lı yılların başında beton kaplama teknolojisinde bir canlanma başlamış ve bazı eski yolların yeniden yapımı ve genişletilmesi programı gündeme gelmiştir [23]. Şekil 3.16'da Avusturya'daki beton kaplamalı A1 otoyolu gösterilmiştir.



Şekil 3.16 : 50 yıl hizmet verdikten sonra 2003 yılında yeniden yapılan Avusturya'daki beton kaplamalı A1 otoyolu [23].

Belçika’da otoyol ağının büyük bir bölümü sürekli donatılı beton kaplama olarak yapılmıştır. Sadece Belçika ve Fransa, sürekli donatılı beton kaplamayı geniş ölçüde kullanan Avrupa ülkelerindendir. Belçika’daki toplam yol ağı yaklaşık 134,000 km’dir. Otoyollar ise bu bölümün sadece % 1’den biraz fazlasını meydana getirmektedir ve bu otoyolların % 40’ı beton yol olarak yapılmıştır. Bunun yanı sıra, ülkedeki toplam yol ağının % 17’lik bölümü beton kaplamadır. Şekil 3.17’de gösterilen Belçika’nın ilk beton yolu, Lorraine Avenue, 1925 yılında yapılmış ve 2003 yılına kadar hizmet verdikten sonra beton takviye tabakası yapılmıştır.



Şekil 3.17 : Belçika’nın 1925 yılında yapılan ilk beton yolu 78 yıl hizmet vermiştir [23].

Hollanda’da ise 2,300 km’si otoyol olmak üzere toplam 113,000 km’lik bir yol ağı bulunmaktadır. Toplam ağın % 2’sini oluşturan beton yollar, bütün trafiğin % 38’ine hizmet vermektedir. Otoyolların % 5’lik bölümü beton kaplamadır ve bunların yarısı sürekli donatılı, diğer yarısı da derzli donatısız beton kaplamadır. Ülkede ayrıca bölgesel yollar içerisinde 140 km’lik beton yol da bulunmaktadır. Hollanda’daki toplam yol ağının yaklaşık % 4’lük kısmı beton kaplamadan oluşmaktadır. Motorlu taşıt trafiğine ait yollara ek olarak, ülkede yaklaşık 20,000 km’lik bisiklet yolu bulunmaktadır ve bu yolların da % 10’u beton kaplamadır [23].

3.5.1. Ülkemizdeki beton yollar

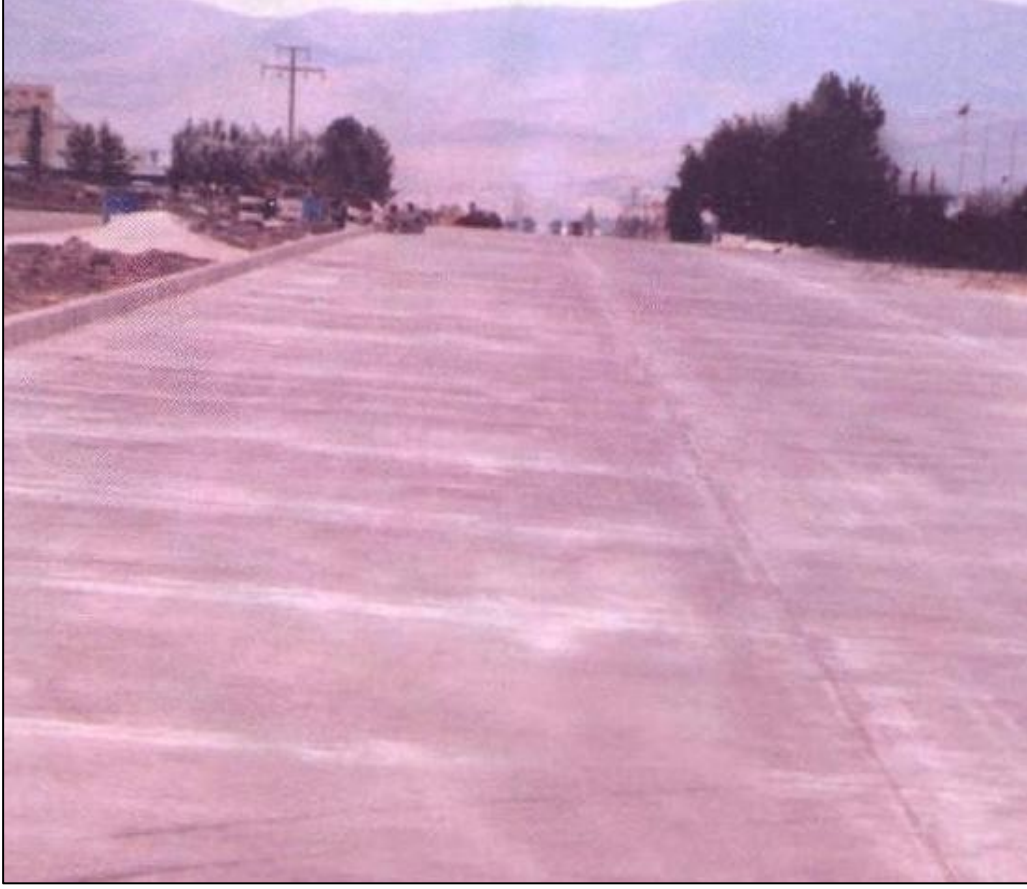
Daha önceki bölümde de anlatıldığı gibi, ülkemizde henüz beton kaplama olarak yapılmış otoyol, devlet yolu veya il yolu bulunmamaktadır.

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB), ülkemizde beton yolu tanıtmak ve beton yol uygulamalarını başlatmak amacıyla çeşitli etkinliklerde bulunmuştur. Bunların içinde en önemlisi 9 Nisan 2002 tarihinde KGM ile imzalanan protokol olmuştur. İmzalanan bu protokole göre TÇMB deneme amaçlı, iki ayrı güzergahta beton yol yapımını üstlenmiştir. Afyonkarahisar'daki beton yolun Afyonkarahisar-Emirdağ yolunun 2 km'lik bölümünde, İstanbul'daki beton yolun ise, Hasdal Kavşağı-Kemerburgaz yolunun 3.5 km'lik bir bölümünde yapılması öngörülmüştür [8].

3.5.1.1. Afyonkarahisar'daki beton yol

KGM ile TÇMB arasında imzalanan protokole göre, Afyonkarahisar'da yapılacak beton yolun Afyonkarahisar-Emirdağ ayrımı 4.Bölge Hududu devlet yolu üzerinde İscehisar geçişinde yapılması öngörülmüştür. Bu yol KGM tarafından iyileştirilerek bölünmüş hale getirilmekteydi. O tarihte İscehisar geçişi zaten bölünmüş olduğundan, bir yönü beton kaplama olarak yapılırken, diğer yönün de karşılaştırma amacıyla asfalt betonu olarak yapılabileceği düşünülmüştür. Fakat geçen süre zarfında Afyonkarahisar çıkışında da bölünmüş yol çalışmalarının başlayarak hızla ilerlemesi sonucunda, beton yolun, Afyonkarahisar merkezinden 19 km uzaklıktaki İscehisar yerine, şehre daha yakın bir yerde yapılması hususu araştırılmıştır. KGM'nin de onayıyla beton yolun 5+700 ile 7+700 km arasında bölünmüş kesimin Afyonkarahisar'a gidiş yönünde yapılmasına karar verilmiştir (Şekil 3.18). Yapılan yolun platform genişliği 3 trafik şeridi için 12 m olup, enine % 2'lik bir eğim öngörülmüştür. Plentmiks alttemel ve temel tabakaları sırasıyla 25 ve 15 cm kalınlıkta olup, kaplama tabakaları için kırmızı kota kadar 30 cm kadar bir kalınlık kalmıştır. Beton kaplama kalınlığının hesaplanması için, tabaka kalınlıkları ve trafik bilgileri doğrultusunda Belçikalı uzmanlar Belçika Şartnamesindeki B2 sınıfına benzer bir üstyapı ve derzli donatısız beton kaplama önermişlerdir. Buna göre temel tabakası üzerinde 6 cm kalınlığında bir asfalt tabakası ve onun üstünde 23 cm kalınlığında beton plak bulunması gerekmektedir. Daha sonra asfalt tabakasından

vazgeçilmiş ve beton plak kalınlığı 27 cm olarak belirlenmiştir. Beton yol, 25 Eylül 2004 tarihinde yapılan bir törenle resmen hizmete girmiştir [8].



Şekil 3.18 : Afyonkarahisar'daki beton yolun tamamlandıktan sonraki görüntüsü [8].

3.5.1.2. İstanbul'daki beton yol

İstanbul'daki beton yol için belirlenen güzergah, bölünmüş yola çevrilerek asfalt olarak yapılmakta olan Hasdal Kavşağı-Kemberburgaz Ayrımı-Yassıören Devlet Yolu'nun (km: 0+000-43+504) Hasdal Kavşağı-Kemberburgaz Ayrımı (km: 39+900-43+504) arasında kalan ve Kemberburgaz Ayrımı'na doğru sağ tek taşıt yönü olan yaklaşık 3.5 km uzunluğundaki bölümü olarak belirlenmiştir (Şekil 3.19). Toplam platform genişliği 10.5 m olup, yolun enine eğimi % 2'dir. Uzmanlarca derzli donatısız olarak tasarlanan rijit üstyapının beton plak kalınlığı 27 cm olup, altında 6 cm asfalt arayüzey, 15 cm plentmiks temel ve 15 cm kırmataş alttemel öngörülmüştür. Yolun yapımı esnasında, asfalt arayüzeyin kalınlığı 5 cm olarak belirlenmiştir. Ayrıca, KGM yetkililerinin önerisi üzerine yolun son 1000 m'lik kısmında, beton plak kalınlığının 32 cm olmasına ve asfalt arayüzeyin

kullanılmamasına karar verilmiştir. Beton yolun geçici kabulü 10 Ağustos 2006 tarihinde yapılmış ve trafik çizgileri çizildikten sonra yol trafiğe açılmıştır [8].



Şekil 3.19 : İstanbul'daki beton yolun trafik çizgileri çizilmiş (üstte), İstanbul'daki beton yol hizmete giriyor (altta) [8].

3.6. Beton Yolların Üstünlükleri

Beton yapılara bakıldığında, genel görüş daha dayanıklı olduklarına yönelik olup, beton yollar hakkında da bu görüş geçerliliğini korumaktadır. Ancak, gelişen dünyada mühendislik yapılarının sadece dayanıklı olması yetmemekte ve çevresel, ekonomik ve toplumsal açıdan da kabul edilebilir nitelikte olmaları gerekmektedir. Bu bölümde, beton yolların teknik, ekonomik, çevresel, toplumsal ve sosyal açıdan bazı özellikleri maddeler halinde anlatılmıştır.

- Uzun ömürlülük (Durabilite)

Beton kaplamalar, asfalt betonu kaplamalara göre daha uzun süre dayanmakta ve hizmet ömrü boyunca daha az bakım gerektirmektedirler. Malzemenin özelliğinden

ileri gelen rijitliği sayesinde beton kaplamalarda tekerlek izi, ötelenme oluşmamakta, böylece stabil bir yüzey sağlanmaktadır [24].

Hizmet ömrü 50 yıl veya daha fazla olan Kuzey Amerika'daki birçok beton karayolu tasarlandıkları anda beklenen trafik hacminin çok daha fazlasını taşıyabilmektedirler. Hizmet ömrü bu şekilde uzun olan yolları Kuzey Amerika'nın tek bir bölgesine sınırlamak veya özel bir çevre veya iklim için değerdendirmek doğru olmamaktadır. Hizmet ömrü uzun olan beton kaplamaların ömür döngü maliyetleri açısından ekonomik avantajları olduğu ispatlanmıştır. Yeniden yapma veya iyileştirme yöntemleri enerji tüketimine sebep olduğundan, enerji korunumu da gerçekleşmektedir [25].

- Akaryakıt tasarrufu

Ağır taşıtlar esnek kaplamalarda, rijit kaplamalara göre daha fazla deformasyona neden olurlar. Kaplamada oluşan bu deformasyonların artışı, taşıtın hareketinde kullanılabilecek taşıt enerjisinin bir kısmını söndülmektedir. Bu nedenle de esnek kaplamalar üzerindeki hareket daha fazla enerji, diğer bir deyişle daha fazla yakıt gerektirmektedir. Beton kaplamalardaki rijitlik sayesinde yoldaki deformasyonlar azalmakta, dolayısıyla bu da akaryakıt tasarrufunu sağlamaktadır [26]. Kaplama türünün yakıt tüketimi üzerindeki etkisinin incelenmesine yönelik Kanada'da Ulusal Araştırma Konseyi tarafından bir araştırma yapılmış ve araştırma farklı mevsimlerde, çeşitli araçlar ve yollar üzerinde, değışik istatistiksel modeller kullanılarak ilave testlerle dereceli olarak genişletilen 4 araştırma serisinden oluşmuştur. Bütün aşamalarda beton kaplamalarda, esnek kaplamalarla karşılaştırıldığında, ağır yük taşıtları tarafından akaryakıt tasarrufu sağlandığı gözlenmiştir. En genel olan ve değışik düzgünlük derecelerine sahip yollar üzerinde, bütün mevsimlerde yapılan incelemeyi içeren son aşama en küçük farklılıkları ortaya koymuştur. Buna karşın, asfalt betonu yollara göre beton yollardaki yakıt tasarrufu, hem boş hem dolu tır römorku için yılın dört ya da beş döneminde % 0,8 ile % 3,9 arasında değışmekte ve bu değerdler, sahada % 95 güvenilirlikle elde edilen, istatistiksel olarak önemli sonuçlarla bulunmuştur. Ortalama % 2,35'lik bir yakıt tasarrufu kesinlikle ihmal edilmeyecek düzeydedir ve işlek bir otoyolun hizmet ömrü süresince toplam yakıt tüketimi ve kirliliğe sebep olan gazların emisyonu açısından çok büyük bir farkı yansıtmaktadır [27].

- Bakımdan kaynaklanan zaman kaybı

Beton kaplamaların az bakım gerektirmeleri, kaplamanın hizmet ömrü boyunca daha az yol çalışması yapılmasını gerektirmektedir. Bu da yol kullanıcıları ve çevredeki yerleşimler açısından daha az müdahale ve daha az sıkıntı anlamını taşımaktadır. Ayrıca, beton kaplamalardaki onarımlar uzun sürmek zorunda değildir. Geleneksel yol betonundan yapılmış yeni bir beton yol, 4 ile 7 gün arasında değişen kür süresinden sonra trafiğe açılabilir [27].

- Ömür döngü maliyeti

İlk yatırım maliyeti çoğu kez yanlış yönlendirilerek temel kriter olarak kullanılmaktadır. Bu yaklaşım yeni bir yapının bakım maliyetlerinin aşırı olduğu varsayıldığında, yapı maliyeti ekonomik açıdan yanıltıcı olarak hesaplanabilmektedir. Bu noktada bir yol kaplamasının faydalı ömür süresi açık bir şekilde önemli rol oynamaktadır. 2001 yılında Belçika'nın Walloon bölgesinin Karayolu İdaresi sürekli donatılı beton kaplama ile geleneksel asfalt kaplama arasında ömür döngü maliyeti analizlerine dayanan, ekonomik karşılaştırma yapan bir çalışma yayınlamıştır. Çalışmanın en güçlü tarafı ise E42 yolunun (Autoroute de Wallonie) 20 km'lik iki kesiminin yapımını ve bakımını kapsayan 30 yılı aşkın bir deneyime dayalı olmasıdır. Çalışmada bütün fiyatlar yıllık iskonto oranı yaklaşık % 10 referans alınarak 2001 yılı değerlerine dönüştürülmüş ve 50 yıllık bir süre için ömür döngü maliyeti analizi yapılmıştır. Çalışmada dördü sürekli donatılı beton kaplama ve ikisi asfalt betonu kaplama olmak üzere altı farklı yol yapısı incelenmiştir. Asfalt betonu kaplamaların toplam kalınlıkları biri 21 cm, diğeri 26 cm olmak üzere birbirinden farklıdır. Her iki yolun temel tabakası 20 cm'lik çimento stabilize temel olarak yapılmış ve alttemel için de sırasıyla 35 ve 30 cm'lik kumtaşı kökenli kırmataş agrega kullanılmıştır. Dört beton kaplama da sadece taşıt yolu genişlikleri açısından birbirinden farklı yapılmıştır. İlk beton yol, 7.20 m genişliğinde sürekli donatılı beton kaplama ile sert banket ve bitümlü karışım orta refüjden, ikincisi 8.00 m genişliğinde sürekli donatılı beton kaplama ile sert banket ve bitümlü karışım orta refüjden, üçüncüsü 10.30 m genişliğinde sürekli donatılı beton kaplama ile sadece bitümlü karışım orta refüjden ve sonuncusu da yolun tamamı olmak üzere 11.05 m genişliğinde sürekli donatılı beton kaplamadan oluşturulmuştur. Dört yolda da 20 cm kalınlığındaki sürekli donatılı beton kaplama 6 cm'lik bir bitümlü stabilize ara tabaka üzerine serilmiştir. Temel tabakası 20 cm'lik çimento stabilize temelden

ve alttemel tabakası da 30 cm'lik kumtaşı kökenli kırmataş agregadan yapılmıştır. Çalışmaya ait sonuç Şekil 3.20'de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere asfalt betonu kaplamaların bakım maliyetlerinin yükselme eğilimleri, beton kaplamalara göre oldukça fazladır. Beton kaplamalı yollar, en erken 7'nci, en geç ise 14'üncü yılda daha avantajlı duruma gelmeye başlamaktadır. Asfalt betonu yolun ilk yapım maliyetinin daha düşük olması, sürekli donatılı bir beton yolun uzun dönemdeki faydalarına karşı önemini yitirmektedir [27].

- Aydınlatma giderleri

Betonun daha açık renkli yüzeye sahip olmasından ileri gelen üstün yansıtıcılık özelliği, caddelerde ve otoyollarda aydınlatma giderlerinde tasarruf edilme ihtimalini ortaya çıkarmaktadır. Daha az aydınlatma direği kullanılarak ya da parlaklığı daha düşük ampuller kullanılarak tasarruf edilebilir. Her iki durumda da öncelikle aydınlatma direği sayısı azaltılmasıyla, ikinci olarak da yıllık elektrik tüketiminin azaltılmasıyla maliyetler düşürülebilir. Kanada'daki bir çalışma, beton yolda bir kilometre uzunluk için 14 aydınlatma direği gerekirken, aynı aydınlatma seviyesi için asfalt betonu yolda 20 aydınlatma direğine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir [27].

Şekil 3.21'de aydınlatma açısından beton kaplama ile asfalt betonu kaplama arasındaki farklılık gösterilmiştir.

- Fiyat istikrarı

Yol yapımında kullanılan malzemelerin fiyat değişimleri incelenecek olursa, asfalt gibi ithal edilen malzemelerin fiyatlarının, tamamen ham petrolün uluslararası piyasadaki fiyatlarına bağlı olduğu ve özellikle de enerji yetersizliği dönemlerinde fiyat değişimlerinin büyük dalgalanmalara maruz kalacağı açık bir şekilde görülmektedir. Diğer yandan çimento, yerel olarak üretilen bir yapı malzemesidir ve enerji fiyatlarından etkilense de neticede fiyatı daha dengelidir. Türkiye gibi bazı ülkelerde, çimento ve bitümlü bağlayıcılar açısından piyasa koşulları birçok Batı Avrupa ülkesinden farklıdır. Bu ülkelerde beton bir yol için ilk yatırım maliyeti eşdeğer asfalt betonu bir yolun maliyetinden daha düşüktür. Ayrıca, bakım maliyetleri de eklendiği zaman aradaki farklar son derece yüksek olmaktadır [27].



Şekil 3.20 : Sürekli donatılı beton ve asfalt betonu kaplamalı yolların ilk yapım ve bakım maliyetlerini gösteren grafik [27].



Şekil 3.21 : Brezilya'daki bir karayolu, beton (solda) ile asfalt betonu kaplamanın albedo farklılığını göstermektedir [25].

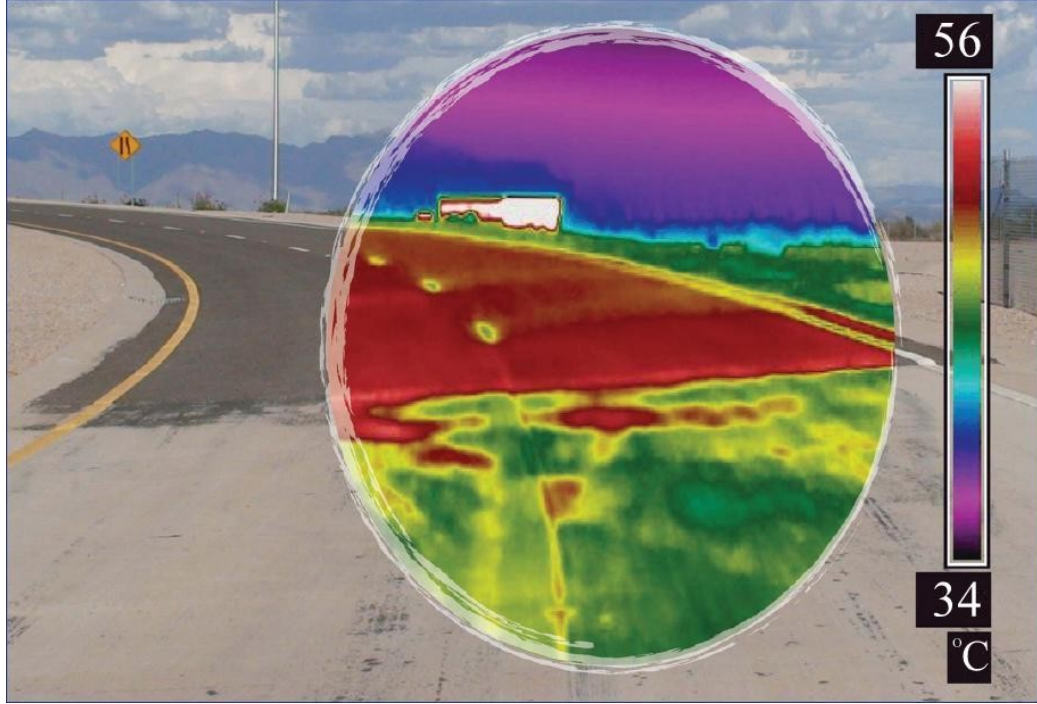
- Isı adası etkisi

Kaplama yüzeyi tarafından yansıtılamayan güneş ışığının enerjisi, kaplamanın sıcaklığını artıran termal enerjiye dönüştürülmektedir. Bu da kaplamanın çevresindeki havanın sıcaklığını yükseltmektedir. Kentsel bölgelerde kaplamaların ve diğer yüzeylerin güneşin ısını absorbe etmeleri sonucunda oluşan yüksek hava sıcaklıkları, ısı adası etkisi olarak bilinmektedir. Isı adası etkisi iklimleme için gerekli enerji tüketimine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Bu, sadece enerji ve para tüketimini artırmamakta, aynı zamanda enerji santrallerinden daha fazla emisyonu neden olmaktadır. Kentsel bölgelerde yolların beton kaplama olarak yapılması, ısı adası etkisinin azaltılmasına yardım etmek için etkili bir önlemdir. Yüksek albedo değerinden dolayı, beton kaplamalar güneş ışığını önemli ölçüde yansıtmakta ve asfalt betonu kaplamalara göre daha düşük sıcaklık değerine sahip olmaktadır (Şekil 3.22).

- Yol güvenliği

Bir yol yüzeyi için güvenlik en önemli faktördür. Sürüş konforu faktörleri güvenliğe doğrudan bağlıdır. Bununla birlikte, kayma direnci, kızaklama etkisi ve görüş netliği daha da önemlidir. Yeterli yüzey sürtünmesi ve iyi bir yüzey dokusu sağlanarak, hem kuru hem de ıslak koşullarda kazalar önlenir. Beton yolların var olduğu ülkelerde, genellikle kayma direnci ile ilgili bir problem bulunmamaktadır. Sürtünmenin kalıcılığı, yüzey pürüzlendirme metoduna bakılmaksızın kaplamanın

üst yüzeyinde doğru agrega kullanılmasını gerektirir. Kullanılacak agrega cilalanma, sertlik ve don hassasiyeti gibi konularda bütün gereklilikleri sağlamalıdır. Beton kaplamaların bir avantajı da yapımdan hemen sonra gerekli kayma direncine sahip olması ve yüzeyden ince agreganın kaybolmamasıdır. Ayrıca, açık renkli beton yüzeyi araç sürücülerinin gece görüşünün iyileşmesine katkıda bulunmaktadır [27].



Şekil 3.22 : Arizona-Mesa'daki bir yolun termal görüntüsü, arka plandaki asfalt betonu kaplama ile ön plandaki beton kaplama arasındaki sıcaklık farkı dikkat çekicidir [25].

- Geri dönüşüm

Beton kaplama % 100 geri dönüştürülebilir bir malzemedir. Yorulma süresinin en sonunda, beton kaplama kırılabilir ve yeni bir kaplama için alttemel malzemesi, temel tabakası veya granüler dolgu malzemesi olarak yeniden kullanılabilir. Geri dönüşümü yapılmış bir beton kaplama ayrıca, yeni bir beton kaplama için agrega olarak da kullanılabilir [25]. Şekil 3.23'te beton bir kaplamanın geri dönüşüm işlemi gösterilmektedir.

- Yol temeli için gerekli malzeme miktarı

Esnek kaplamalarla karşılaştırıldığında rijit kaplamalar, taşıt yüklerini daha büyük bir alan üzerine yaydıklarından daha az kalınlıkta granüler temeller gerektirirler. Genel anlamda, birçok durumda beton yol temelleri % 50'ye varan oranlarda daha az

granüler malzeme gerektirirler. Bu da hem maliyetleri hem de sınırlı kaynak kullanımını azaltmaktadır. İlâveten, granüler malzemenin daha az taşınması, önemli derecede yakıt tasarrufu ve emisyon azalması meydana getirmektedir [24].



Şekil 3.23 : Silindirle sıkıştırılan beton yol temelinde ve yeni beton kaplamada agrega olarak kullanılmaya yönelik eski beton yolun geri dönüşümü [27].

- Endüstriyel yan ürünlerin kullanımı

Betonda kullanılan bazı çimentolar yaygın bir şekilde endüstriyel yan ürünlerle yer değiştirebilmektedir. Bu ürünler içerisinde en çok kullanılan üç malzeme uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silika dumanıdır. Bu malzemelerin uygun miktarlarda kullanımı, betonun dayanıklılık, geçirgenlik ve dayanım gibi özelliklerini iyileştirebilir. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ayrıca, beton karışımının işlenebilirliğini artırabilir ve alkali-agrega reaktivite problemini de azaltmak için kullanılabilir [24].

- Tünellerde yangın güvenliği

Tünellerdeki yollarda kullanılacak kaplama türü seçileceği zaman, beton kaplamaların faydaları öne çıkmaktadır. Uzun servis ömrü, en az bakım ve onarım gerekliliği, tekerlek izi oluşmayan güvenli bir yol yüzeyi, sürücü görüşünü iyileştiren ve aydınlatma gereksinimini azaltan açık renkli yüzey bu faydalardan bazılarıdır. Betonun önemli bir diğer avantajı da yangına dayanıklı olması ve ısındığı zaman toksik gaz salmamasıdır. Beton bir kaplama yangına elverebilecek kalorifik kapasiteye katkı sağlamaz ve bu nedenle insanların tahliyesi ya da acil servisler açısından ilave bir tehlike oluşturmaz. Betonun seçimi bu yüzden risk önleme politikasına uygun olmaktadır ve tünellerdeki yangının sonuçlarını sınırlandırmaktadır [27].

4. YOL YÜZEY ÖZELLİKLERİ ve ETKİLERİ

Yol yüzey özelliklerinin tüm yol tipleri için uluslararası tanımı PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) tarafından 1987 yılındaki kongresinde yapılmıştır. Yapılan bu tanıma göre, yol yüzey özellikleri, yolun gerçek profilinin, yolun teorik profilinden sapmaları olarak belirtilmiştir. Yol yüzey özellikleri, bu sapmaların dalga boyuna (λ) bağlı olarak, yol yüzey dokusu ve geometrik düzgünlüğü olarak ikiye ayrılmıştır. Bu tanımlama aşağıdaki gibi belirtilebilir;

Yol yüzey dokusu:

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

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

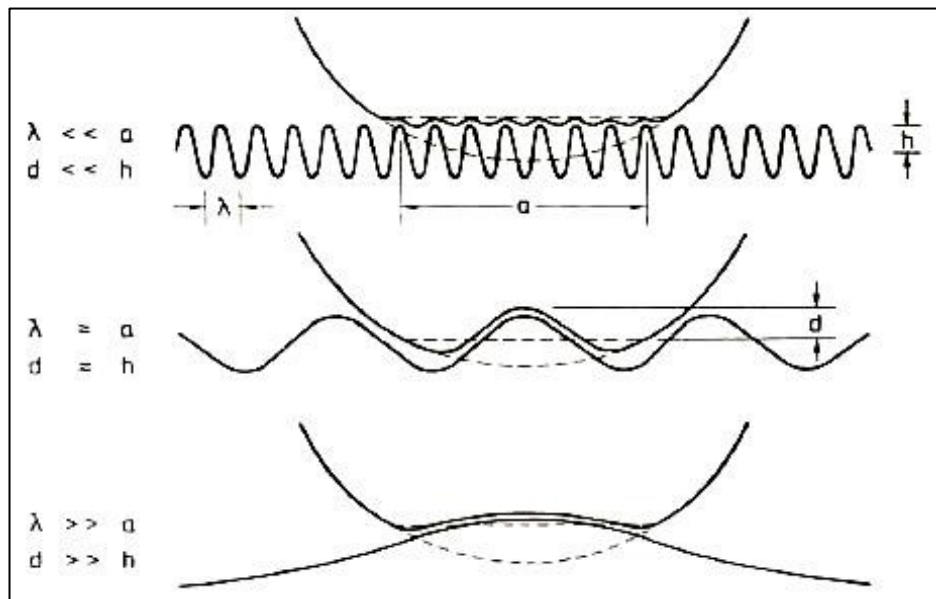
Megadoku $\rightarrow 50 \text{ mm} < \lambda < 500 \text{ mm}$

Geometrik düzgünlük:

Boyuna geometrik düzgünlük $\rightarrow 0,5 \text{ m} < \lambda < 50 \text{ m}$

Enine geometrik düzgünlük $\rightarrow 0,5 \text{ m} < \lambda < 50 \text{ m}$

Şekil 4.1’de makrodoku, megadoku ve geometrik düzgünlük gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Makrodoku, megadoku ve geometrik düzgünlük [28].

Beton yolların yüzeyleri farklı şekillerde olduğundan, her beton yolun yüzey özellikleri de farklı olmaktadır. Bu özelliklerden mikrodoku, karışımda kullanılan agregaların yüzey özelliklerine bağlıdır. Makrodoku ise, agrega dane boyutu ile ilgili bir parametredir. Megadoku ise, yol yapım aşamasında finişerin vibrasyonu sonucunda veya yol yüzeyinin zamanla bozulması sonucu oluşan çatlaklar vb. nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Beton yolun geometrik düzgünlüğü ise, yine yol yüzeyinin zamanla trafik ve çevre şartları nedeniyle bozulması sonucunda oluşan büyük boyutta çatlaklar, kopmalar, yol taban zemininin çökmesi ve/veya yapım sırasındaki yapım hataları sonucunda meydana gelmektedir [28].

4.1. Yol Yüzey Dokusu

4.1.1. Mikrodoku

Mikrodokunun dalga boyu 0,001 ile 0,5 mm arasında değişmekte ve düşey genliği de 0,2 mm'den küçük olmaktadır. Beton kaplamalarda, harçtaki ince agrega mikrodokuya katkı sağlamaktadır.

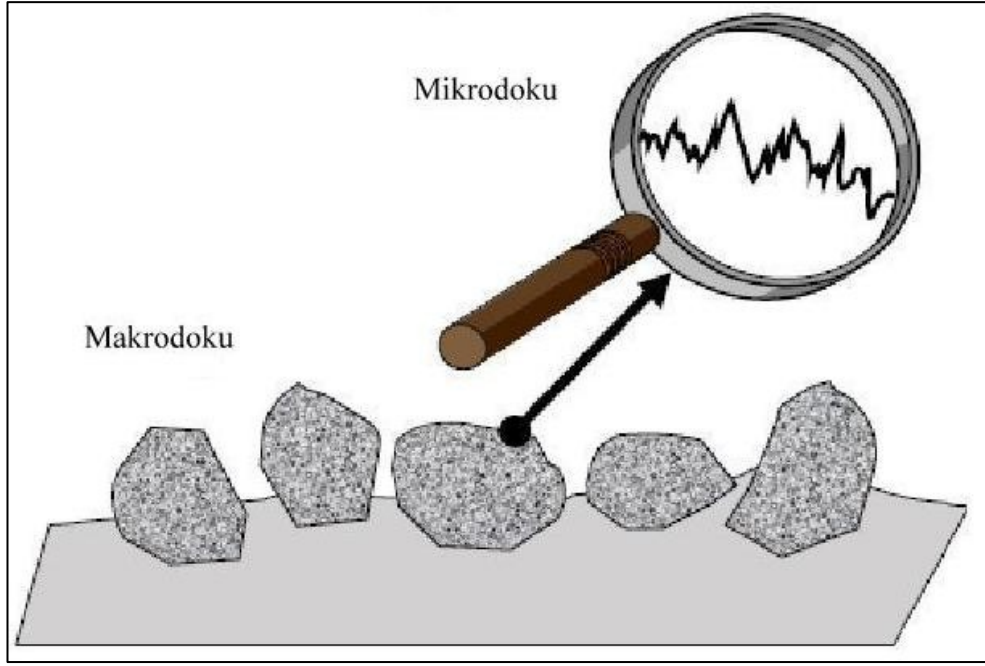
Beton kaplamalarda, kuru koşullarda normal işletme hızında ve ıslak kaplamalarda taşıt hızının 80 km/sa altında olması durumunda, yeterli seviyede durmayı sağlamak için iyi bir mikrodokuya gerek duyulmaktadır. Taşıt hızlarının yüksek olması umulduğunda, ıslak koşulda yeterli seviyede durmayı sağlamak için, iyi mikrodoku ve iyi makrodoku gerekmektedir. Tekerlek lastiği ile kaplama arasında meydana gelen gürültünün iyileştirilmesi konusunda mikrodoku bir etken olmamaktadır [29].

4.1.2. Makrodoku

Makrodokuda dalga boyu 0,5 mm ile 50 mm arasında, düşey genlik ise, 0,1 mm ile 20 mm arasında değişmektedir. Makrodoku, özellikle taşıt hızlarının yüksek ve kaplama yüzeyinin ıslak olduğu koşullarda önemli bir rol oynamaktadır. Islak koşullarda sürtünmeyi iyileştirmesine ilaveten, makrodoku tekerlek lastiği ile kaplama arasında oluşan gürültüye en önemli etkisi olan yol yüzey özelliğidir.

Makrodokunun kaplama sürtünmesi ve gürültüsü (taşıt içinde ve dışında) üzerindeki etkisi uygulanan yüzey tipinden ve bu yüzey tipinin tasarım detaylarından önemli ölçüde etkilenmektedir [29].

Şekil 4.2'de makrodoku ve mikrodoku gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : Yol yüzey özelliklerinden makrodoku ve mikrodoku [30].

4.1.3. Megadoku

Megadokuda dalga boyu 50 mm ile 500 mm ve düşey genlik de 0,1 mm ile 50 mm arasında değişmektedir. Bu doku tipi kötü yapım, yerel oturmalar veya yüzey bozulmaları sonucunda oluşmaktadır.

Megadoku araç içindeki ve dışındaki gürültünün artmasına sebep olabilir. Megadoku ayrıca kaplamanın sürüş kalitesini olumsuz etkiler ve araç süspansiyonunda zamanından önce eskimelere sebep olabilir [29].

4.2. Geometrik Düzgünlük

Kaplamanın yüzey düzgünlüğü, dalga boyu megadokunun üst limiti olan 500 mm'den daha uzun olan yüzey düzensizlikleri olarak tanımlanmaktadır. Bu aralıkta bulunan dalga boyları araç dinamiği, sürüş kalitesi ve yüzey drenajı üzerinde etkilidir.

Yüzey düzgünlüğü genellikle çevre koşullarına veya kötü yapıma ve kaplamanın herhangi bir tabakasındaki araç yüklerinden kaynaklanan deformasyonlara bağlıdır. Yüzey düzgünlüğü, tekerlek lastiği ile kaplama arasında meydana gelen gürültüyü önemli ölçüde etkilemez [29].

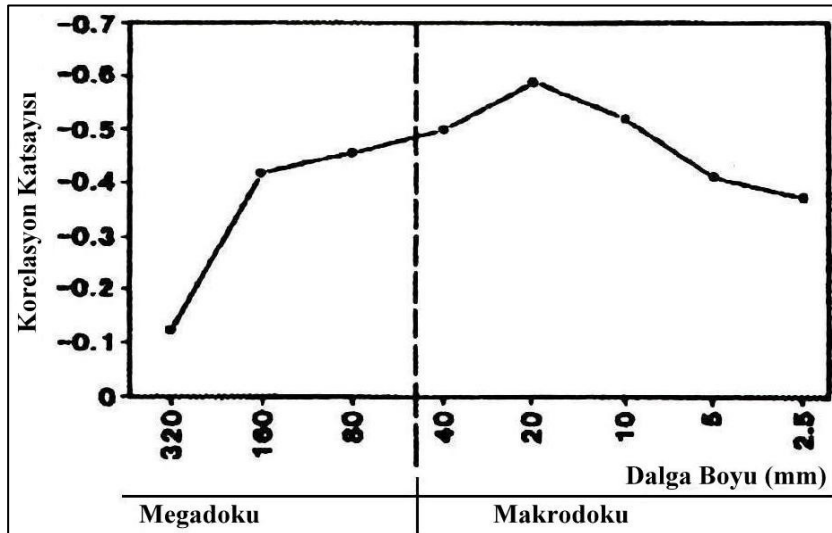
4.3. Beton Yol Yüzey Özelliklerinin Yolun Performansına Etkileri

4.3.1. Güvenlik

Beton yollarda en önemli performans kriteri olarak güvenlik ön plana çıkmaktadır. Beton bir yolun güvenliği genellikle yol yüzeyinin kayma direncine, taşıtın yol tutuşuna, yolun optik özelliklerine ve su sıçratmasına bağlıdır.

4.3.1.1. Kayma direnci

Beton bir yolun güvenliği genel olarak, beton yol yüzeyinde ıslak koşullarda belirli bir seyir hızında olan aracın tekerlek lastiği ile yol yüzeyi arasında meydana gelen kayma-sürtünme katsayısının belirli bir seviyede olup olmadığı ile ilgilidir ve bu da tamamen yol yüzeyinin mikrodokusuna ve makrodokusuna bağlı olmaktadır. Beton yol yüzeyinin mikrodokusu, beton yol yüzeyindeki su filmini parçalamakta ve böylece tekerlek lastiğinin agrega ile temasını sağlamaktadır. Beton yol yüzeyinin makrodokusu ise, beton yol yüzeyi üzerinde biriken suyun direne olmasını sağlayarak, su yastığı oluşmasını önlemekte ve özellikle yüksek taşıt hızlarında yeterli seviyede kayma-sürtünme katsayısının elde edilmesini sağlamaktadır. Şekil 4.3'te, yol yüzey profilinin kayma direnci üzerine olan etkisi üzerine yapılan bir çalışmaya ait sonuç gösterilmiştir. Çalışmada, yol yüzeyinin 20 ve 80 km/sa hızlarında kayma direnci değerlerinin farkının yol yüzey özelliği ile ilişkisi araştırılmıştır. Sonuçta tekerlek lastiği ile yol yüzeyi arasındaki su drenajının en fazla olduğu dalga boyunun 8-16 mm arasında olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.3 : Değişik yol yüzeylerinde 20 ve 80 km/sa hız değerlerinde ölçülen kayma direnci değerleri farkının yol yüzeyi dalga boyu ile ilişkisi [28].

Hem makrodoku hem de mikrodoku yüksek seviyelerde tutulursa, ıslak koşullarda yeterli kayma direnci sağlanabilmektedir. Makrodokunun artması genellikle yüksek hızlarda kayma direncini artırmaktadır. Mikrodoku ise, düşük hızlarda, sürtünme üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [29].

4.3.1.2. Yol tutuşu

Güvenli bir sürüş için, taşıt tekerlek lastiğinin beton yol yüzeyine yeterli oranda temas etmesi gerekmektedir. Tekerlek lastiğinin beton yol yüzeyi ile en iyi temasının olduğu durum, tekerlek lastiğinin düşey hareketinin olabildiğince sabit olduğu durumdur. PIARC'ın 1975 yılına ait teknik komite raporu, taşıt tekerlek lastiğinin düşey hareketinin olabildiğince sabit olduğu durumu sağlayan frekans değerlerinin 5 ile 20 Hz arasında olduğunu belirtmektedir. Bu frekansların oluşmasına yol açan boyuna geometrik düzgünlük değerleri ise, 0,5 m ile 8,0 m arasında değişmektedir. Ayrıca beton yollarda, asfalt betonu kaplamaların aksine, enine geometrik düzgünlük ile ilişkili olan tekerlek izi meydana gelmediğinden, taşıtın yol tutuşunda azalma olmamaktadır [28].

4.3.1.3. Su sıçratma

Beton yol yüzeyinin su sıçratmasının azaltılabilmesi için drenajının çok iyi olması ve yol üzerindeki su filmi kalınlığının en düşük seviyede tutulması gerektiği bilinmektedir. Makrodokunun artırılması genellikle yüzeyin su sıçratma potansiyelini azaltmaktadır. Buna rağmen, yol enkesitinin çatı eğiminin drenaj için yeterli seviyede olmaması ve yol yüzeyinde oyuk ve deliklerin olması, su birikintisi miktarını artıracığından, su sıçratmayı da artıracığı açıktır [28,29].

4.3.1.4. Optik özellikler

İyi bir görüş netliği hem sürücü hem de yaya açısından son derece önemlidir. Yüzeyin yansıtıcı özellikleri görüş netliğini etkilediğinden, yüzeyin dağınık yansıma sağlaması ve düzgün yansımayı minimum seviyede tutması avantajlı olmaktadır. Bununla birlikte yol yüzeyinin ıslanması halinde, yüzeyin optik özellikleri kötüleşmektedir ve etkisiz bir yüzey drenajı yüzeyin bu optik özelliklerinin daha da kötüleşmesine neden olmaktadır. Makrodoku yüzey drenajına katkıda bulunarak, ışığın yayılmasının sürekliliğine yardımcı olmaktadır [31].

Beton yol yüzeyinin optik özellikleri konusu, genellikle beton kaplama üzerindeki yatay işaretlemenin gündüz ve gece boyunca iyi şekilde görülebilmesi şeklindedir. Beton yol güvenliği ile ilgili üç optik özellik tanımlanabilir:

- Beton yol yüzeyi, otomobil far ışığının yol yüzeyinden yansıyıp karşı şeritten geçmekte olan taşıt sürücüsünün gözünü almayacak şekilde bir dokuya sahip olmalı,
- Beton yol yüzeyinin gündüz-gece ortalama aydınlatma katsayısı, gündüz güneş ışığı altında, gece ise aydınlatma şartları altında güvenliği sağlayacak büyüklükte olmalı,
- Otomobil far ışığının beton yol yüzeyinden yansımaları için, yol yüzeyi yeterli yansımaya açısını sağlayacak bir yüzey dokusuna sahip olmalıdır.

Yukarıdaki özelliklerin hepsinin sağlanabilmesi, beton yol yüzeyinin makrodokusunun iyi bir şekilde tasarlanması ile gerçekleştirilebilmektedir [28].

4.3.2. Ekonomi

Beton yol yüzey özelliklerinin kullanıcıya olan maliyetleri üzerindeki etkileri genel olarak, dinamik yükler, taşıt yıpranması ve yakıt tüketiminin artması olarak üç başlık altında incelenebilmektedir.

4.3.2.1. Dinamik yükler

Dinamik yükler, beton yol yüzeyinde bulunan girinti, çıkıntı ve yivlerin taşıt süspansiyonları üzerindeki etkisi nedeniyle oluşmakta ve taşıtın kütlesinin meydana getirdiği statik yükün yaklaşık 0,15 katı kadar olmaktadır.

Taşıtların yükleri ile beton yol kaplaması üzerindeki hasar miktarı arasında üssel bir ilişki olması nedeniyle, bu etki toplam standart dingil yükünde ($T_{8.2}$) yaklaşık % 35'lik bir artışa neden olmaktadır. Dinamik yüklerin etkisi, kaplamanın ömrünün beklenen servis ömründen önce bitmesine neden olmaktadır. Dinamik yüklerin oluşmasına neden olan beton yol yüzey özelliği, yaklaşık olarak tüm boyuna geometrik düzgünlüğü kapsamaktadır [28].

4.3.2.2. Taşıtların yıpranması

1985 yılında Dünya Bankası'nın değişik ülkelerde yaptığı ölçümler sonucunda, taşıtların yıpranması (bakım maliyetleri, yedek parça tüketimi, yağ tüketimi vb.) ve yolun

boyuna geometrik düzgünlüğü ile ilgili bir parametre olan IRI (Uluslararası Pürüzlülük İndeksi-International Roughness Index) arasında önemli bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Tekerlek lastiğinin aşınması konusunda yapılan araştırmalar sonucunda, tekerlek lastiğinde meydana gelen aşınmanın, daha pürüzlü olan yol yüzeyinde, pürüzlülüğü az olan yol yüzeyine göre üç kat fazla olduğu gözlenmiştir. Bu gözlemler sonucunda, yol yüzeyi mikrodokusunun tekerlek lastiğinin aşınmasında önemli bir role sahip olduğu belirlenmiştir [28].

4.3.2.3. Yakıt tüketimi

Kaplamalı yollar üzerinde yapılan ölçümler, hatalı yol yüzeylerinde yuvarlanma direncinin % 47 daha fazla olduğunu göstermiştir. Yol yüzeyindeki bu bozukluk yakıt tüketiminde % 90'a varan artışlara neden olmaktadır. Bu bakımdan, megadoku en önemli parametre olarak öne çıkmaktadır [6].

4.3.3. Konfor ve çevre

4.3.3.1. Konfor

Taşıt sürücüsünün konforunu etkileyen en önemli etken, taşıt içerisinde oluşan titreşimlerdir. Yol yüzey özelliklerinin sürücü konforu üzerindeki etkisi incelendiğinde (konforun kişisel bir olgu olması sebebiyle incelemede bir grup sürücünün konforsuzluk hislerinin ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır) yol yüzey profilinin dalga boyunun 0,5 m ile 3 m arasında kalan kısmının ortalama konfor değerlendirmesinde en belirleyici etken olduğu saptanmıştır. Araba üreticileri tarafından yapılan araştırmalarda ise, megadokunun da konforsuzluğa neden olduğu belirtilmektedir [28].

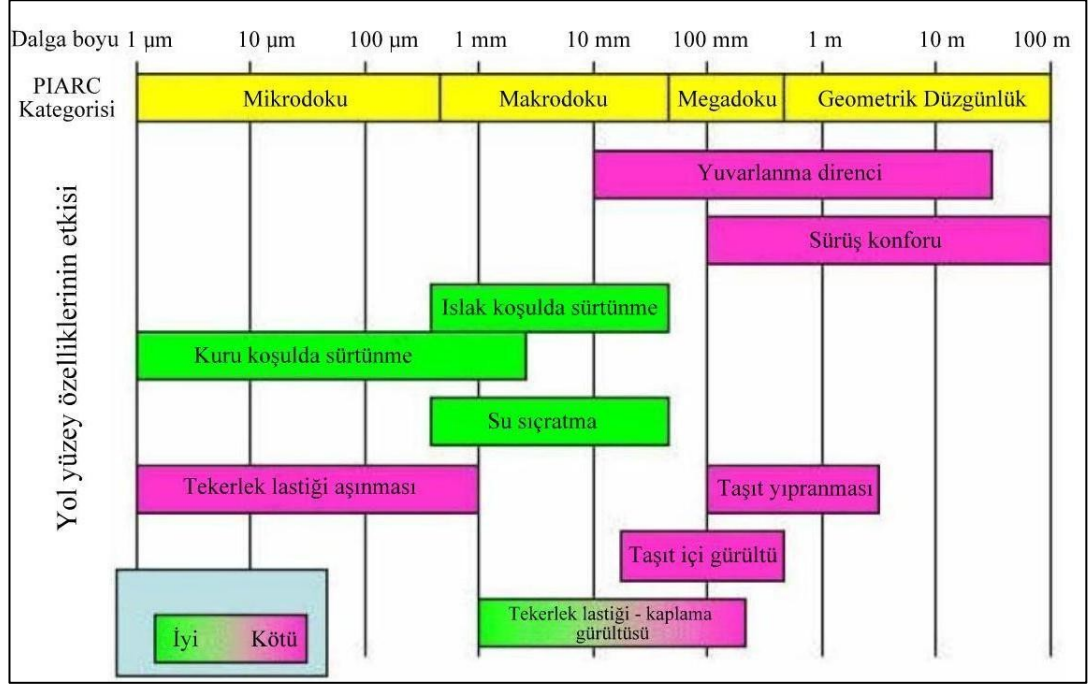
4.3.3.2. Çevre

Trafik gürültüsü

Seyir halindeki bir taşıttan yayılan en önemli gürültü, tekerlek lastiği ile kaplama arasındaki temas sonucu oluşan gürültüdür. Tekerlek lastiği ile kaplama arasındaki temas sonucu oluşan bu gürültü, diğer bütün koşulların aynı kalması şartı ile yüzey özelliklerine bağlı olarak 10 dB(A)'dan daha fazla değişiklikler göstermektedir.

gelen gürültü, güvenliğin azalmasına da sebep olmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda, taşıt içerisinde meydana gelen gürültü üzerindeki en büyük etkenin megadoku olduğu tespit edilmiştir [6].

Yol yüzey özelliklerinin yol performansı üzerindeki etkileri Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : PIARC yol yüzey özelliklerinin sınıflandırılması ve yol performansı üzerindeki etkileri [29].

4.4. Yüzey Dokusu Ölçüm Yöntemleri

4.4.1. Kum yama yöntemi

ASTM E 965 standardında yer alan kum yama yöntemi (sand patch method), geleneksel hacim hesabına dayalı yöntemin kullanılarak, ortalama doku derinliğinin (mean texture depth - MTD) hesaplanmasına dayalıdır. Bu sebeple yöntem ortalama doku derinliği yöntemi olarak da bilinmektedir. Bu yöntem, hacmi ve gradasyonu belirli Ottawa silika kumunun kaplama üzerinde özel bir alet kullanılarak, dairesel bir şekilde yayılması esasına dayanır (Şekil 4.6). Geçmiş yıllarda, Ottawa silika kumu kullanımı, yerini Ottawa silika kumuna göre daha üniform yayılabilen cam kürelerin kullanımına bırakmıştır.

Kumun veya cam kürelerin oluşturduğu dairenin ortalama çapı belirlendikten sonra, hacmi bilinen kumun ya da cam kürelerin hacminin, dairenin alanına bölünmesiyle

ortalama doku derinliği elde edilir. Beton kaplamalar için tavsiye edilen ortalama doku derinliği değerinin, tek deney için 0,5 mm'den az olmamak şartıyla, ortalama en az 0,8 mm'lik bir değere sahip olması gerektiği yönündedir [29].



Şekil 4.6 : Ottawa kumu kullanılarak yapılmış kum yama yöntemi [29].

4.4.2. Akış ölçme yöntemi

Akış ölçme yöntemi (outflow meter) kullanılarak akış süresi hesaplanmakta ve kaplama yüzeyinin makrodoku özellikleri belirlenmektedir. Yöntemde kaplama üzerine yerleştirilmiş lastik halka üzerinde duran şeffaf düşey silindir kullanılmaktadır (Şekil 4.7).



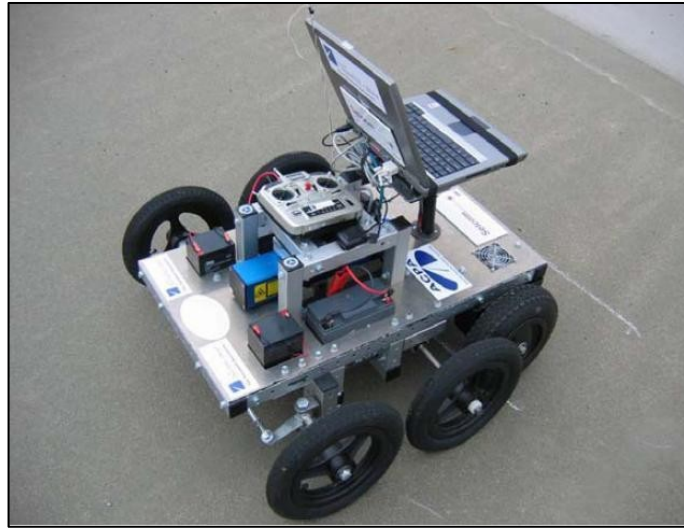
Şekil 4.7 : Akış ölçme yönteminin uygulanması [29].

Silindirin en altında bulunan vana kapatılarak, silindir su ile doldurulup vana açıldıktan sonra, belirli hacimdeki suyun sistemden akışı için gerekli süre ölçülür ve bu süreye akış süresi denmektedir. ASTM E2380-05 standardında akış süresinin hesaplanması için gerekli prosedürler yer almaktadır [29].

4.4.3. Robotlu doku ölçüm yöntemi

2005 yılında geliştirilen yeni bir ölçüm tekniği ile kaplama yüzey dokusunun ölçümü üç boyutlu olarak yapılabilmektedir. Robotex (Robotic Texture Measurement System) uzaktan kontrol edilebilecek aktarma ve yönlendirme elemanlarının yer aldığı ana gövde üzerine yerleştirilen lazerden oluşmaktadır. Donanımlar 0,5 m/s'lik bir hızdan daha yavaş hareket edebilecek şekilde düzenlenmiştir. Bu özellikleri sayesinde Robotex aleti, megadoku ve makrodokuya ait üç boyutlu dalgaboylarının değerlerini ölçme yeteneğine sahiptir [32].

Robotex doku ölçüm cihazı Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : Robotex doku ölçüm cihazı [30].

5. GÜRÜLTÜ

Gürültü, insanların işitme algısını ve işitme sağlığını olumsuz yönde etkileyen, fizyolojik ve psikolojik dengeleri bozabilen, iş performansını azaltan, çevrenin hoşluğunu ve sakinliğini yok ederek niteliğini değiştiren önemli bir çevre kirliliği türüdür [33].

Çevre gürültüsünün bir türü olan trafik gürültüsü, özellikle de nüfus yoğunluğunun daha yüksek olduğu ve hem ticari hem de şahsi kullanımdan doğan trafik hacminin yüksek olduğu kentsel alanlarda büyüyen bir problem haline gelmektedir. En azından bu bölgelerde ve yollara yakın bölgelerde trafik gürültüsünü azaltabilmek için, mühendisler maliyeti km başına yaklaşık 1,250,000 dolar olan gürültü bariyerleri kullanma yoluna gitmektedirler. Birçok durumda etkili olmalarına rağmen, gürültü bariyerleri gürültü kirliliği için her zaman en iyi çözüm olmamaktadırlar. Öncelikle, görüş alanını etkilemek durumunda kalmaktadırlar. Ayrıca dalgalı arazide etkili olmaları da kesin olmayan diğer bir durumdur. Yakın zamanda gürültü bariyerlerine alternatif çözüm arama yoluna giden mühendisler, tekerlek lastiği ile kaplama arasındaki etkileşim sonucunda meydana gelen gürültüyü azaltan değişik kaplama tipleri ve yüzeyleri geliştirmişlerdir. Tekerlek lastiği ile kaplama arasındaki etkileşim sonucunda meydana gelen gürültü, bütün yollar ve birçok taşıt açısından birkaç gürültü kaynağından biri olsa da, hızı yaklaşık 50 km/sa üstünde olan araçlar için trafik gürültüsünün ana kaynağıdır [34].

Gürültü daha basit bir tanımla istenmeyen ya da hoş olmayan ses olarak tanımlanabilir. Ses, birisi tarafından kendisini rahatsız eden bir şey olarak tanımlanmadığı sürece gürültü olmamaktadır. Bu da gürültü kavramının, bir sesin miktarının ve tanımının kişisel bir değerlendirme olduğu anlamını taşımaktadır. Buna rağmen, birçok insan karayoluyla alakalı sesleri duymayı tercih etmemektedir ve herhangi seviyedeki bir sesi de gürültü olarak değerlendirmektedir. Bu sebeple de karayolu ile alakalı sesler gürültü olarak tanımlanmaktadır [29].

Gürültünün nihayetinde bir ses türü olduğu düşünülürse sesle ilgili bazı kavramlara değinmek gerekmektedir.

5.1. Ses

Sesin fiziksel bir olay olarak basit tanımı; ‘esnek bir ortamda fiziksel bir uyarı sonucunda ortaya çıkan basınç değişimleridir’ şeklinde yapılmaktadır. Diğer bir tanım ise; ‘titreşim yapan bir kaynak aracılığı ile hava basıncındaki değişimlerin oluşturduğu ve insanda işitme duyusunu uyaran fiziksel bir olaydır’ şeklindedir [33].

5.1.1. Ses basıncı

Sesin yayılması sırasında, belirli bir zaman içinde herhangi bir noktadaki hava basıncının atmosferin denge basıncından olan farkı, ses basıncı olarak ifade edilmektedir. Birimi Pascal (Pa)’dır ve Newton/m^2 cinsinden ifade edilir [33].

İnsanın normal işitme hassasiyeti 20×10^{-6} Pa ile 20 Pa arasında değişen ses basınçlarını içermektedir.

5.1.2. Ses basınç düzeyi

Ölçülen ses basınçları, bir referans düzeye göre karşılaştırılarak sonuç logaritmik olarak belirtildiğinde, değerler düzey adını almaktadır. Düzeyin birimi ise, desibel (dB)’dir. Desibel biriminde insan kulağının işitme yeteneği (işitebildiği en düşük ses) göz önüne alınmaktadır. Gerçekte ses basınç değeri Pa biriminde verildiğinde çok küçük değerlerdir, bu nedenle logaritmik ölçek yardımıyla ses büyüklüklerinin daha basit sayılar ile gösterilmesi büyük kolaylık sağlamaktadır [33].

Ses basıncı düzeyleri logaritmik ölçek kullanılarak ses basıncının bir fonksiyonu olarak hesaplanabilmektedir (5.1).

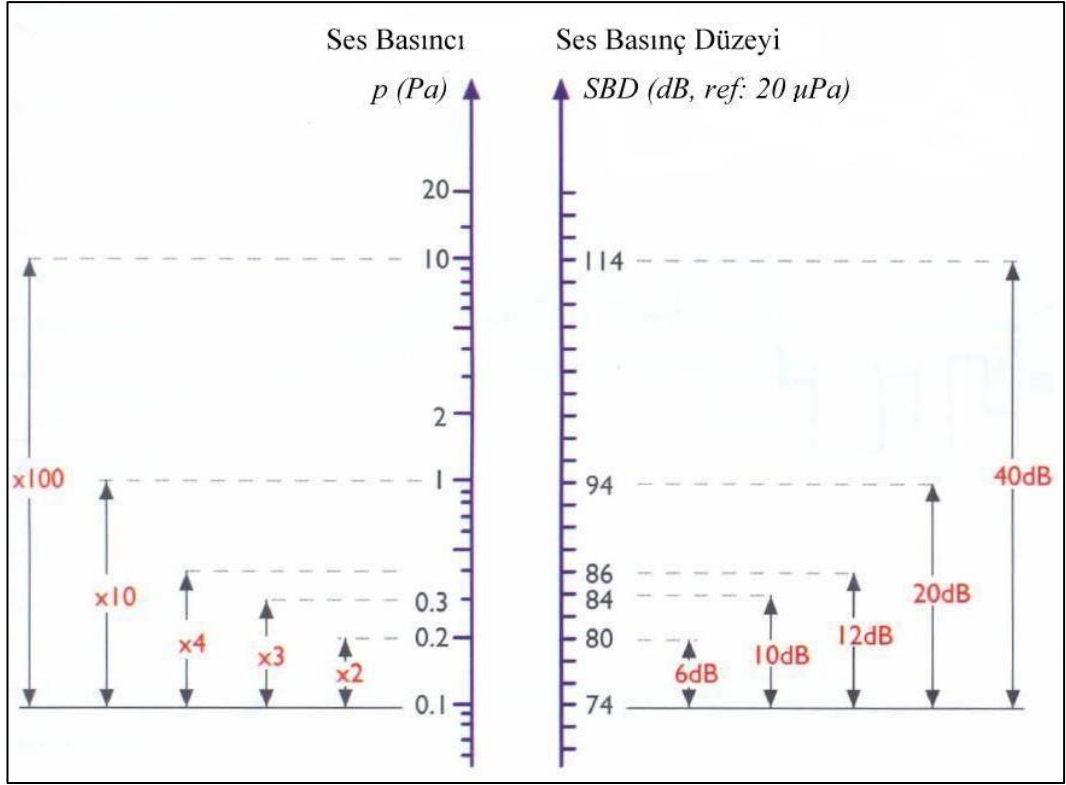
$$\text{SBD} = 10 \times \log(p/p_{\text{ref}})^2 \quad (5.1)$$

SBD: Ses Basınç Düzeyi (dB)

p: Ses Basıncı (Pa)

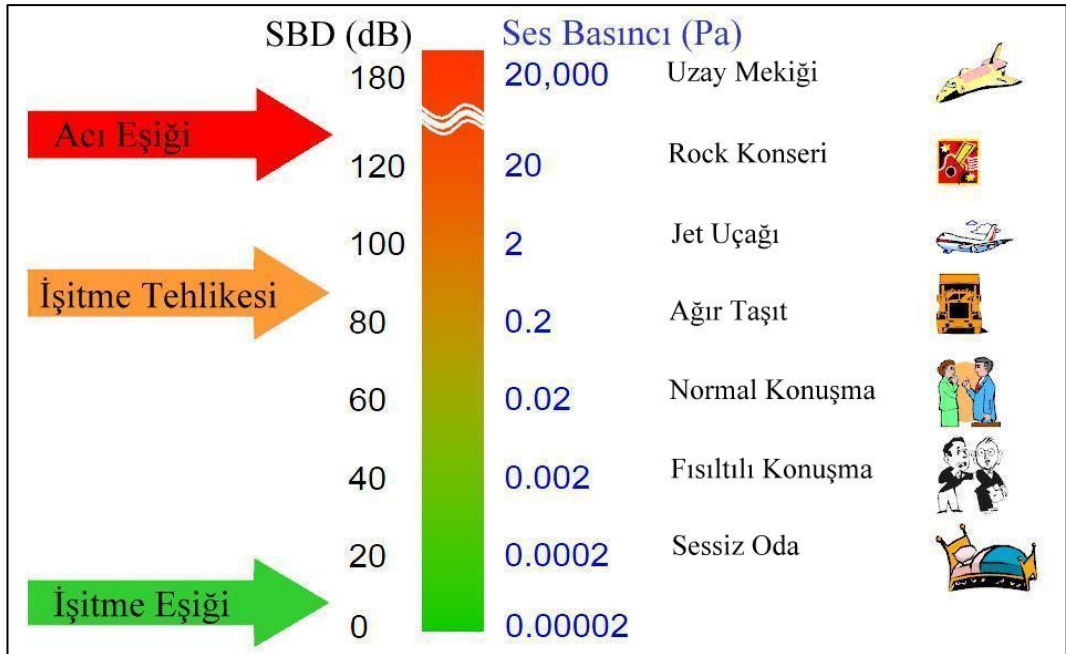
p_{ref} : Referans ses basıncı değeri (20×10^{-6} Pa - İnsan kulağının işitme eşiği)

Özellikle gürültü değerlendirmelerinde doğrusal ölçek kullanılacak olsaydı, büyük birim aralıkları gerekecekti. İşitme eşiğinin 0 dB olarak alındığı, basınç karelerini hesaba katan logaritmik ölçek kullanılması daha doğru olmaktadır. Ses basıncı ve ses basınç düzeyi arasındaki ilişki Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Ses basıncı ve ses basınç düzeyi arasındaki ilişki [33].

Şekil 5.2 bazı ses kaynaklarının yarattığı ses basıncı ve ses basınç düzeyi arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır.



Şekil 5.2 : Ses basınç düzeyi ve ses basıncının karşılaştırılması ve yaygın örnekler [34].

5.1.3. Ses gücü

Ses gücünün birimi Watt'dır. İnsan kulağının işitebileceği en küçük ses gücü değeri ise 10^{-12} Watt'dır. Ses gücü düzeyi, ölçülen ve referans güç oranının logaritmasının 10 katı olarak tanımlanmaktadır. Ses gücü ile ses gücü düzeyi arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir;

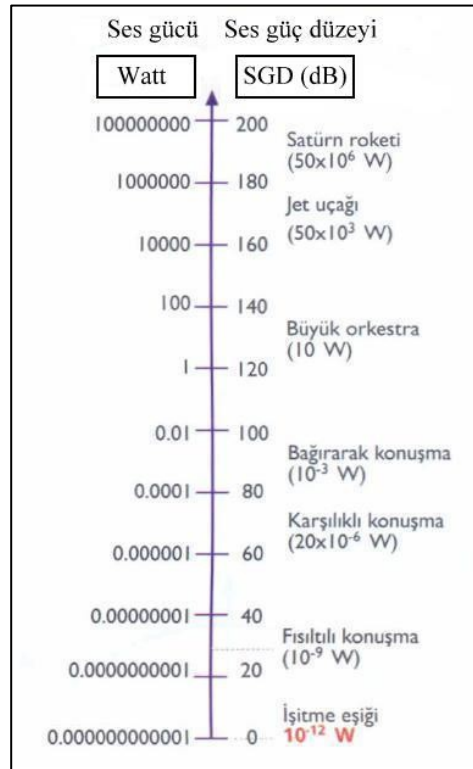
$$SGD=10\log(W/W_0) \quad (5.2)$$

SGD: Ses gücü düzeyi (dB)

W: Ölçülen güç oranı (Watt)

W_0 : Referans güç oranı (10^{-12} Watt)

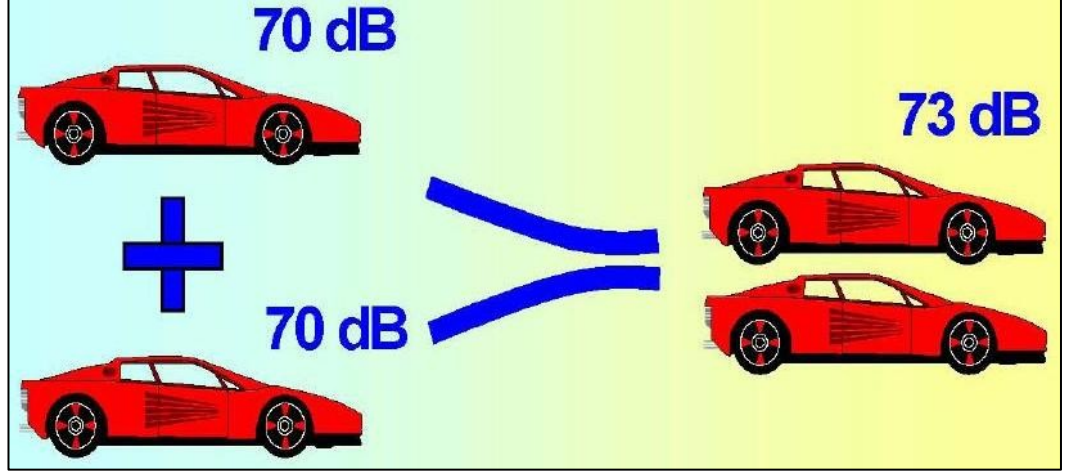
Ses gücü ve ses gücü düzeyi arasındaki ilişki Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 : Ses gücü ve ses güç düzeyleri arasındaki ilişki [33].

Herhangi bir ortamda genellikle birçok ses kaynağı bulunmaktadır. Bu ses kaynaklarının çeşitliliği özellikle de karayolu çevrelerinde artış gösterebilmektedir. İki veya daha fazla birbirinden bağımsız olan ses kaynağından çıkan ses etkileri birbirine eklenip toplam ses düzeyi hesaplanmak istendiğinde, öncelikle ses düzeylerinin ses gücü değerlerine çevrilerek toplanması ve daha sonra da bulunan ses gücü değerinin logaritmik ölçek kullanılarak ses düzeyine çevrilmesi gerekmektedir.

Bu yaklaşım kullanılarak birbirinden bağımsız olan 70 dB ses düzeyine sahip iki ses kaynağının toplam ses düzeyi 73 dB (basitçe bir toplam olan 140 dB'den farklı) olmaktadır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 : Birbirinden bağımsız ses kaynaklarının ses düzeylerinin oluşturduğu toplam ses düzeyi [29].

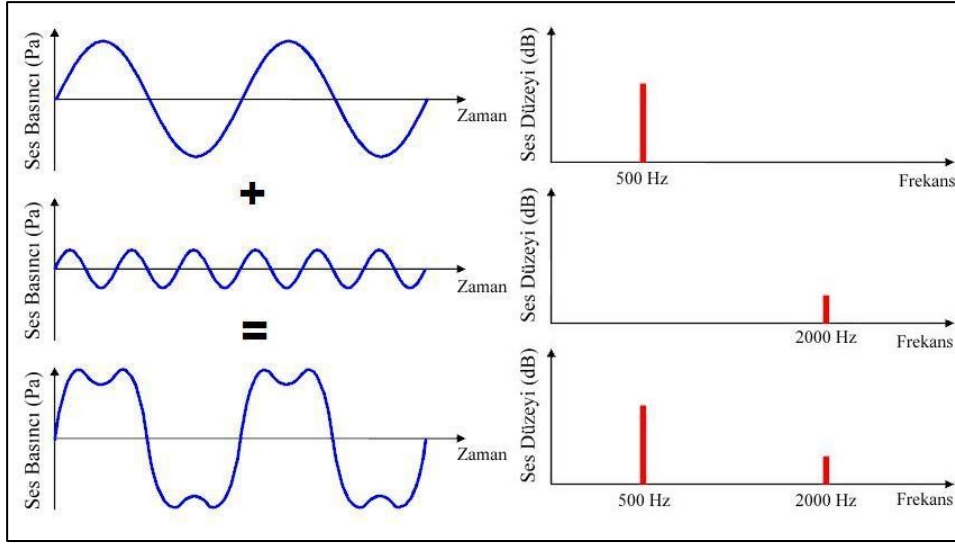
5.1.4. Ses frekansı

Bir sesin frekansı, küçük hava basıncı değişimlerinin ne hızda oluştuğunu tarif etmektedir. Saniyedeki titreşim sayısını gösterir ve birimi Hertz (Hz)'dir. Büyük frekans değerleri için kHz (1000 Hz) birimi kullanılabilir.

Ses düzeylerinde olduğu gibi, frekansın algılanması da lineer değildir. 1000 Hz'den 2000 Hz'e olan değişim (1000 Hz'lik bir artış), 2000 Hz'den 4000 Hz'e olan değişimle (2000 Hz'lik artış) aynı şekilde algılanmaktadır.

İnsanlar geniş aralıktaki ses düzeylerini işitebildikleri gibi geniş bir aralıktaki frekans değerlerini de işitebilmektedirler. Normal işitme yeteneğine sahip bir insan, 20 Hz ile 20 kHz (20000 Hz) aralığında olan titreşimleri işitebilmektedir.

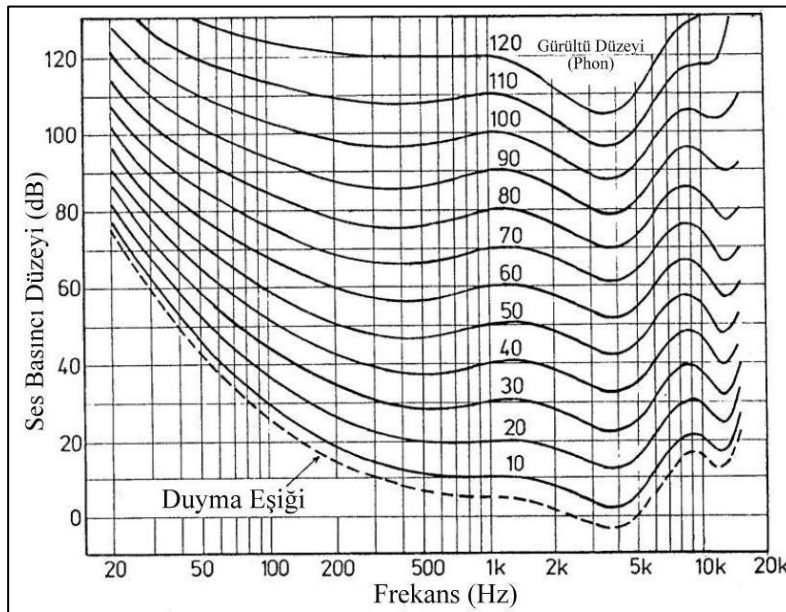
Karayolu gürültüsünü değerlendirebilmek için, frekansın katkısını anlamak gerekmektedir. Şekil 5.5'te iki basit sese ait dalga formları ve frekansları gösterilmektedir. Ses basıncının zamanla değişimi gösterilirken, her iki ses de basit sinüs eğrisi şeklindedir. Ses düzeyinin frekansa göre değişimi gösterilirken, her ses kendine özgü frekans değerinde tek bir çubukla gösterilmektedir. Çubuğun uzunluğu ses dalgasının büyüklüğüyle temsil edilmektedir [34].



Şekil 5.5 : İki basit ses dalgası ve frekanslarının toplamı [34].

5.1.4.1. Eşdeğer gürültü eğrileri

Bir sesin gürültüsü 'phon' adı verilen bir ölçek ile ölçülmektedir ve sesin hem frekansına hem de basıncına bağlıdır. İnsan kulağının frekansa karşılığı basınçla lineer değişmediğinden, diğer frekanslardaki sinüzoidal sesler ve eşdeğer gürültüye sahip sesler farklı ses basıncı düzeyi değerine sahip olacaktır. Örneğin, 100 Hz'lik 66 dB düzeyinde basınca sahip bir ses 60 phon değerinde bir gürültü seviyesine sahiptir. Bu da 1 kHz'lik 60 dB düzeyinde basınca sahip bir sesle eşdeğer gürültüye sahiptir [35]. Eşdeğer gürültü eğrileri (equal loudness contours) Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

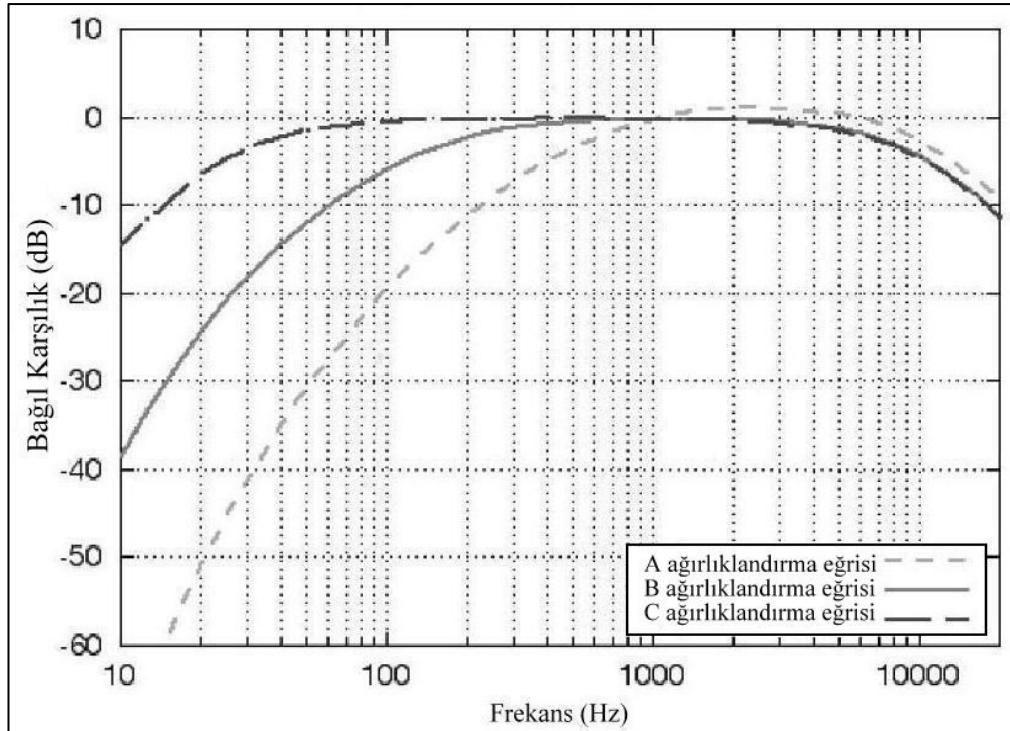


Şekil 5.6 : Eşdeğer gürültü eğrileri [35].

Eşdeğer gürültü eğrileri, gürültünün öznel olarak sınıflandırıldığı birçok laboratuvar deneyi sonucunda elde edilmiştir. Bu eğriler, trafik gürültüsü gibi geniş bir frekans aralığına ve ses enerjisine sahip gürültü türlerinin, ses basıncı düzeyi ve gürültü sınıflandırmasının, frekans ile ilişkisinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır [35].

5.1.4.2. A ağırlıklı filtre ve dB(A) kavramı

Günlük hayattaki sesler genellikle farklı düzeydeki ve farklı frekanslardaki seslerin karışımıdır. İnsanın işitme sistemi düşük frekanslı ve yüksek frekanslı seslere karşı aynı hassasiyette değildir ve en hassas olduğu frekans değerleri ise 2 kHz ile 5 kHz aralığıdır. Duyuma eşiği 2000 ile 3000 Hz frekans aralığında en düşüktür ve çok düşük ve çok yüksek frekanslara doğru yükselir. Bir örnekle anlatılacak olursa, 2 kHz frekanstaki 60 dB’lik bir ses 100 Hz frekanstaki 60 dB’lik bir sestən daha gürültülü olmaktadır. Bir sesin gürültülü olup olmadığı belirlenirken, bunun da açıklanması gerekmektedir, çünkü gürültü öznel olarak algılanmaktadır. Bu sebeple, ölçüm cihazları, farklı frekanslardaki duyum hassasiyetimizi benzeten bir filtre ile ayarlanmaktadır. Bu amaçla çeşitli ağırlıklandırma filtreleri geliştirilmiştir ve bunlar içinde insanın ses algılamasına en iyi karşılık vereni, A ağırlıklandırma filtresidir [29,36]. A ağırlıklandırma eğrisi Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7 : Ses ölçümleri için standartlaştırılmış farklı, frekans ağırlıklı eğriler [29].

Ses ölçümüne ait değerler A ağırlıklandırma filtresi kullanılarak verilirse, dBA ya da dB(A) şeklinde gösterilir. Trafik gürültüsü ölçümlerinde genellikle bu gösterim şekli kullanılmaktadır. Bu şekilde bir gösterim insan kulağının en hassas olduğu frekans aralığını referans aldığından ve eşdeğer gürültü eğrilerinden yola çıkılarak oluşturulduğundan, gürültünün öznel değerlendirmesi açısından daha doğru olmaktadır.

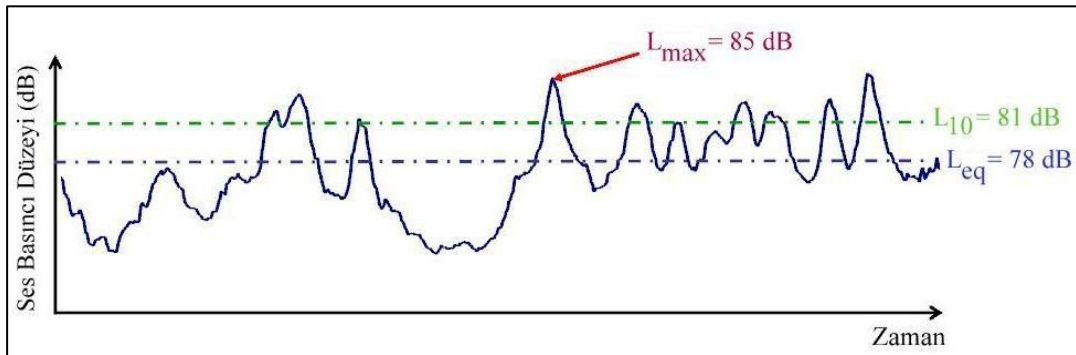
5.1.4.3. Farklı ses düzeylerinin tanımı

Gürültü ölçümüne ait değerler dB(A) cinsinden birkaç şekilde ifade edilebilmektedir. Bütün bu ifadeler, ses basıncı değişimlerine ait ölçümlerden ayırt edilebilmesi için, L harfiyle gösterilmektedir. Bu gösterimler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

L_{eq}: Bu değer, eşdeğer ses basıncı düzeyini göstermektedir. Belirli bir periyot boyunca ölçülen ses düzeylerinin ortalama değerinin tek bir ses düzeyinden ifade edilmesi gerektiğinde kullanılır.

L₁₀: Ses düzeyinin istatistiksel olarak ifade ediliş şeklidir. Ölçüm süresi boyunca elde edilen sonuçların % 10'un bu değeri aştığı eşik ses seviyesidir. Trafik gürültüsü düzeylerinin pik değer tariflerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. % 10 değeri yerine başka yüzde değerleri de kullanılabilir.

L_{maks.}: Ölçüm süresi boyunca çok kısa bir zaman periyodu için elde edilen maksimum ses seviyesidir [37].



Şekil 5.8 : Değişik ses düzeylerinin tanımı [34].

5.2. Karayolu Trafik Gürültüsü

Trafik tarafından ortaya çıkarılan gürültü genellikle trafik gürültüsü olarak tanımlanmaktadır. Karayolu trafik gürültüsü, karayolunda hareket eden bütün

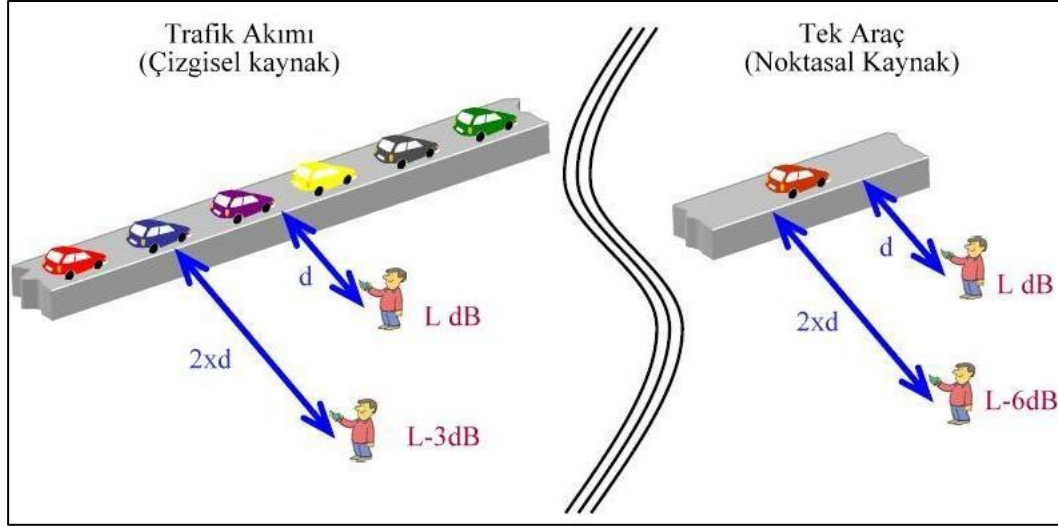
taşıtların çıkardıkları bütün seslerin toplamıdır ve bir taşıtta bulunabilecek bütün gürültü kaynaklarının bileşimini içermektedir. Bu kaynaklar genellikle, taşıt iletim elemanlarının gürültüsü, tekerlek lastiği-kaplama gürültüsü ve aerodinamik gürültü olarak ayrılmaktadır. Taşıt iletim elemanlarının gürültüsü, motor, egzoz ve diğer aktarım organı bileşenlerinin oluşturduğu sesleri kapsamaktadır. Tekerlek lastiği-kaplama gürültüsü ise, tekerlek lastiğinin kaplama üzerinde yol alması sırasında oluşan gürültüdür. Aerodinamik gürültü ise, aracın hava içerisinden geçerken aracın çevresindeki türbülans kaynaklanan gürültüdür [34].

Taşıt iletim elemanlarının meydana getirdiği gürültü, çok düşük hızlarda toplam gürültü içerisinde baskın olmaktadır. Hız yükseldikçe tekerlek lastiği ile kaplama arasında meydana gelen gürültü baskın hale gelmektedir. Aerodinamik gürültü kaynakları ise sadece çok yüksek hızlarda baskın olmaya başlamaktadır [34].

Meydana gelen gürültüde araç türü de önemli rol oynamaktadır. Ağır taşıtlar daha büyük taşıt iletim elemanlarına ve çok sayıda tekerleğe sahip olduklarından, karayolu üzerindeki en gürültülü araçlar olmaktadır. Normal bir ağır taşıt, normal bir binek araçtan yaklaşık 10 dB(A) kadar daha gürültülü olmaktadır. Bu da ağır bir taşıtın on tane binek aracın ses enerjisini tek başına oluşturduğu anlamına gelmektedir ve trafik akımı içerisinde ağır taşıtların oranının % 10'dan fazla olması, toplam gürültü seviyesinde baskın olacağı anlamına taşımaktadır. Trafik gürültüsündeki bir önemli etken de hızdır. Birçok karayolunda, hızın yaklaşık 16 km/sa (10 mph) artması gürültü seviyesinin yaklaşık 2-3 dB(A) kadar artmasına neden olmaktadır. Karayolu üzerindeki trafik hacmi de gürültü seviyesini etkilemektedir, fakat bu etki düşünüldüğü kadar yüksek olmamaktadır. Hızların ve taşıtların trafik hacmindeki dağılımının aynı kaldığı varsayılırsa, trafik hacminin iki katına çıkması, trafik gürültüsünde sadece 3 dB(A)'lık bir artışa neden olmaktadır [34].

Trafik gürültüsünün kontrol edilmesi amaçlı önlemlere bakıldığında, eğer gürültü azaltılması elverişli ve akılcı bulunuyorsa, bazı tipteki gürültü bariyerlerinin kullanılması en yaygın kullanılan seçenek olmaktadır. Kullanılan bariyerin yüksekliği önemli bir etkidir. Birçok ses yere yakın olduğundan, birçok bariyer belli bir dereceye kadar etkili olabilmektedir. Bir bariyerin etkisi, bariyere olan uzaklığa bağlı olmaktadır. Bir bariyerin hemen arkasında bulunmak, ses düzeyinden 5 ile 10 dB(A)'lık bir azalmaya maruz bırakmaktadır. Bariyerden 100-150 m kadar uzakta bulunmak, daha farklı sonuçlar ortaya koymaktadır. Şekil 5.9'da gösterildiği

üzere, seyrek sayılabilecek trafik, nokta kaynak olarak görülmektedir ve mesafenin iki katına çıkması ses düzeyini yaklaşık 6 dB azaltmaktadır. Yoğun trafik ise, çizgi kaynak olarak yorumlanmakta ve mesafenin iki katına çıkması ses düzeyinde 3 dB’lik bir azalma sağlamaktadır [34].



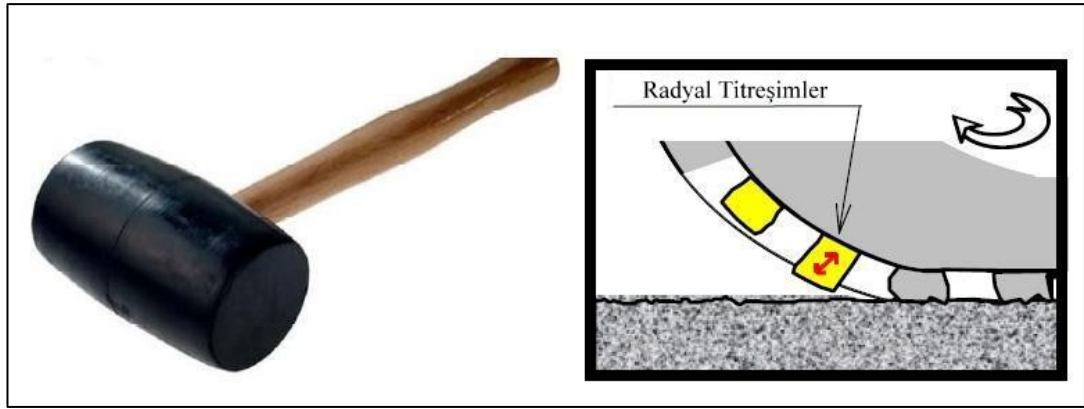
Şekil 5.9 : Değişik kaynak tiplerine ve mesafeye göre ses düzeyleri [34].

5.3. Tekerlek Lastiği ile Kaplama Arasında Meydana Gelen Gürültü

Tekerlek lastiği ile kaplama arasında oluşan gürültü, hareket halindeki tekerlek lastiği ile kaplama yüzeyi arasındaki karmaşık bir etkileşimin sonucudur. Karayolundaki trafiğin oluşturduğu gürültünün ana kaynağı, tekerlek lastiği ile kaplama arasında meydana gelen gürültüdür. En iyi derecede kullanılabilecek ve öngörülebilecek gürültü azaltıcı özelliklere sahip düşük gürültülü yol yüzeyleri tasarlamak için tekerlek lastiği-kaplama gürültüsünün oluşumunun ve yayılım artmasıyla ilgili temel mekanizmaların doğru anlaşılması gerekmektedir [35].

5.3.1. Tekerlek lastiği-kaplama gürültüsü oluşum mekanizmaları

Lastik dişi çarpması etkisi (Tread impact): Tekerleğin kaplama üzerinde yuvarlanma hareketi esnasında, tekerlek lastiği üzerindeki diş ve kaplama yüzey dokusu birbirlerine çarparak biraraya gelmektedir. Aradaki etkileşimin sonunda her saniyede yüzlerce hatta binlerce küçük çekiç darbeleri oluşmakta ve bu da sesi oluşturmaktadır. Bu etki Şekil 5.10’da gösterilmiştir.

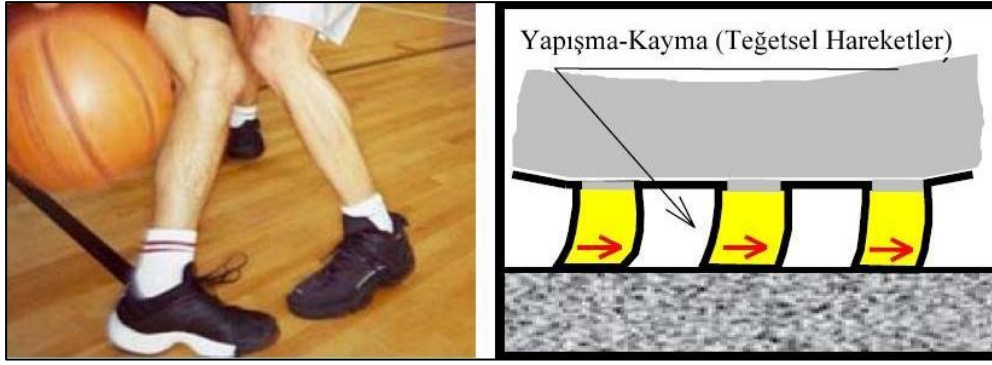


Şekil 5.10 : Lastik dişi darbesi şeklinde ses oluşum mekanizması [34].

Hava pompalanması etkisi (Air pumping): Tekerlek lastiği üzerindeki dış ve kaplama yüzey dokusu arasındaki boşluklar hava ile dolarken, tekerleğin hareketi sonucu bu havanın bir kısmı dışarı sızmakta ve diğer kısmı da hapsolmakta ve sıkışmaktadır. Çok kısa bir zaman zarfı içinde kaplama ile tekerlek lastiği arasındaki temasın kaybolmasıyla birlikte, hapsolan hava dışarı itilmektedir. Bazı durumlarda ise, hava geri emilmektedir. Bütün bunlar bir saniye içerisinde yüzlerce ya da binlerce defa gerçekleşmektedir. Bu oluşum, ellerimizle alkış hareketi yapmaya benzemektedir. Isık çalma örneğinde de aynı oluşum gözükmemektedir. Hava küçük bir açıklıktan dışarı itilmekte ve böylelikle ses oluşmaktadır (Şekil 5.11).

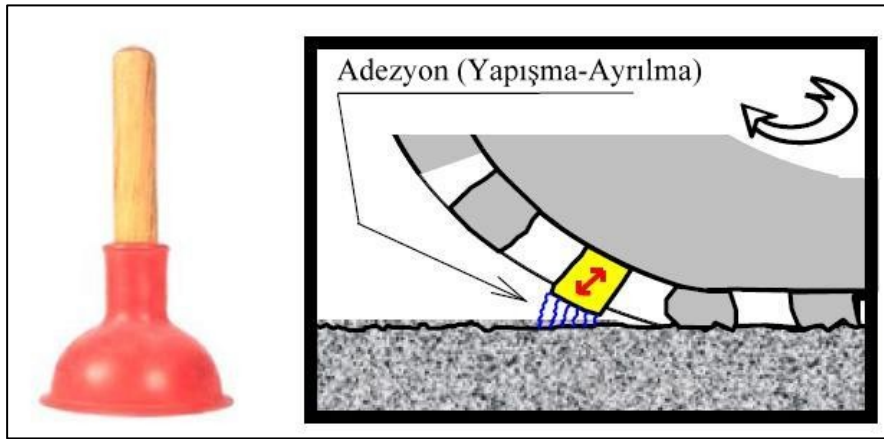
Şekil 5.11 : Hava pompalanması şeklinde ses oluşum mekanizması [34].

Yapışma-kayma etkisi (Stick-slip): Bir basketbol oyununda spor ayakkabılarından çıkan gıcırdama sesi rahatlıkla duyulabilmektedir. Aynı ses tipi, tekerleğin kaplama üzerinde hareket etmesi sonucunda da oluşmaktadır. Taşıt tekerlek lastiği deforme olmakta ve çoğu kez yüzeye yapışmakta ve aynı zamanda belirli aralıklarda kaymaktadır. Her lastik dişinde saniyede binlerce kez gelişen bu olay yüksek frekanslı ses oluşturmaktadır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 : Yapışma-kayma etkisi şeklinde ses oluşum mekanizması [34].

Yapışma-ayrılma etkisi (Stick-snap): Bir vantuz düz bir yüzeye hem adezyon hem de içindeki havanın itilmesiyle oluşan vakum sayesinde yapışabilmektedir. Tekerlek lastiğindeki dişlerin bazı kaplamalarla etkileşimi sonucunda, sesi oluşturan aynı etki oluşmaktadır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 : Yapışma-ayrılma etkisi şeklinde ses oluşum mekanizması [34].

5.3.2. Tekerlek lastiği-kaplama gürültüsü amplifikasyon mekanizmaları

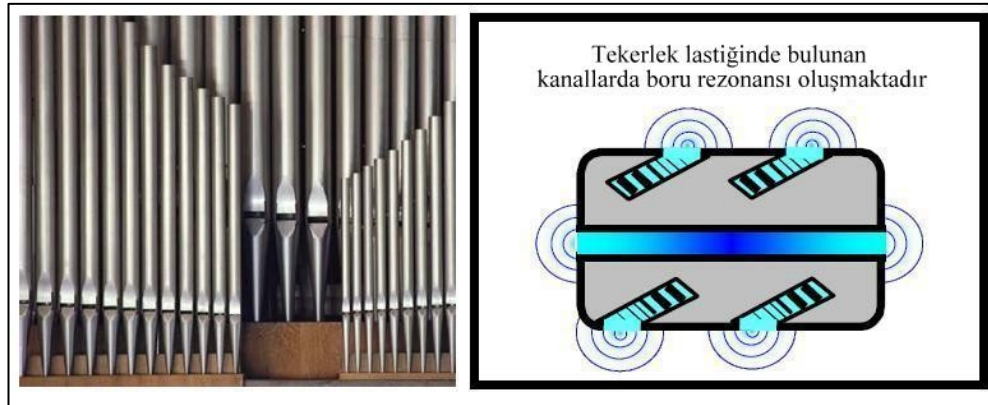
Tekerlek lastiği ile kaplama arasındaki sesi oluşturan mekanizmalar meydana gelen gürültüyü anlatmak için yeterli olmamaktadır. Tekerlek lastiği ile kaplama arasında meydana gelen sesin şiddetini büyüten birkaç tane amplifikasyon mekanizması bulunmaktadır.

Akustik korna etkisi (Acoustical Horn): Temas halindeki bir tekerlek lastiği ile kaplamanın oluşturduğu geometri, bir daire dilimine benzemektedir. Bu geometrik şekle bağlı olarak, bir megafonda ya da kornada olduğu gibi daire dilimi şekli içerisinde birçok ses yansıması meydana gelmektedir. Bu durum sonucunda da önemli bir amplifikasyon etkisi oluşmaktadır (Şekil 5.14).



Şekil 5.14 : Korna amplifikasyon mekanizması [34].

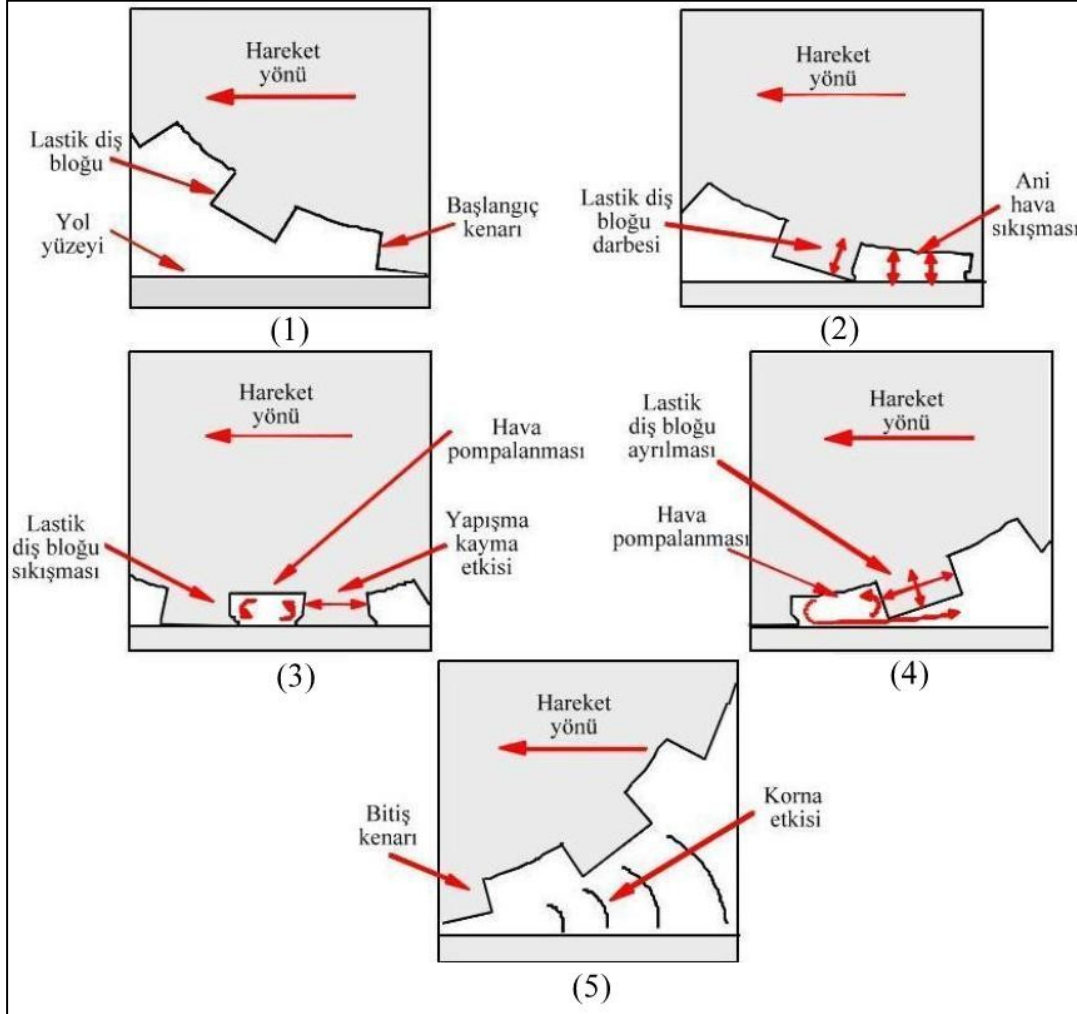
Boru rezonans etkisi (Pipe resonance): Bir borulu orgun bir tarafından diğer tarafına hava üflendiği zaman ses, borunun uzunluğuna ve boruda kaç tane boşluk olduğuna bağlı olarak güçlenmektedir. Bir tekerlek üzerinde de boruya benzeyen geometrik şekiller bulunabilmektedir. Bunlar tekerleğin üzerinde bulunan çeşitli oluklar (kanallar) olabilir. Boruda oluşan ses amplifikasyonu, tekerlek lastiği üzerinde bulunan bu oluklarda da oluşmaktadır (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 : Borulu org amplifikasyon mekanizması [34].

Şekil 5.16’da buraya kadar anlatılan mekanizmaların tekerleğin hareketi süresince ne şekilde geliştiği özetlenmiştir. Birinci durumda tekerlek dönerken, gösterilen lastik dış bloğuna etkiyen bir kuvvet yoktur. İkinci durumda lastik dış bloğu yol yüzeyine çarptıkça, titreşim oluşturan darbeler bloğa etki etmekte ve iki dış bloğu arasında kalan hava sıkışmaktadır. Üçüncü durumda tekerlek yol yüzeyi üzerinde hareket ettikçe, iki blok arasında hapsolan hava sıkışmakta ve serbest kalmaktadır. Bu olay hava pompalanması olarak bilinmektedir. Tekerlek lastiğinde bulunan boyuna kanallarda da boru rezonansı oluşmaktadır. Ayrıca, yol yüzeyi ile temas halindeki lastik dış bloğu üzerine etkiyen sürtünme kuvveti, yapışma-kayma etkisine neden

olmaktadır. Dördüncü durumda lastik diş bloğunun temasının kesilmesiyle, sıkışan hava hızlı bir şekilde uzaklaşmaktadır ve bu da hava pompalanması etkisine neden olmaktadır. Daha sonra, temas halinde sıkışmış şekilde bulunan lastik diş bloğu deforme olmamış ilk haline dönmektedir. Beşinci durumda, temas halinde oluşan gürültü, tekerlek ve yol yüzeyinin oluşturduğu geometri etkisiyle (korna etkisi) büyümektedir. Tekerlek dönmeye devam ettikçe lastik diş bloğu denge haline gelmektedir [35].



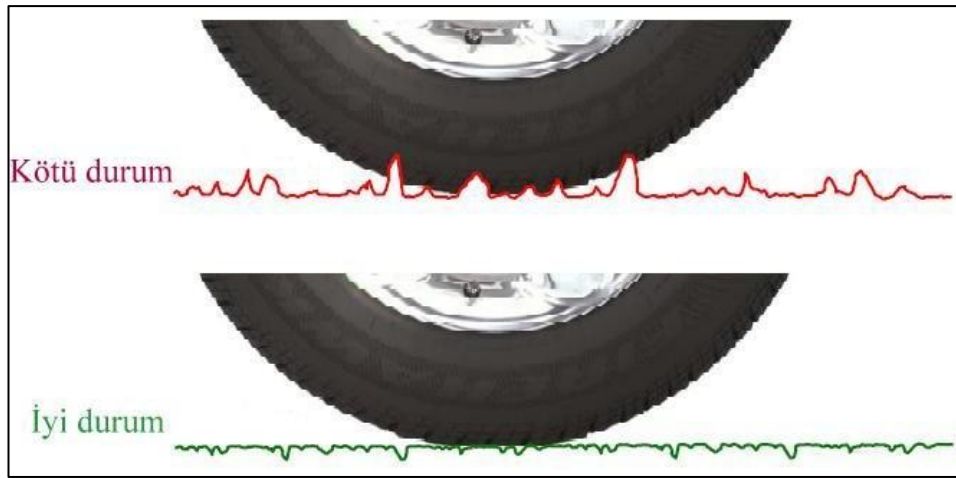
Şekil 5.16 : Tekerlek lastiği ile kaplama arasında oluşan gürültünün gelişimi [35].

5.4. Tekerlek Lastiği-Kaplama Gürültüsünü Etkileyen Kaplama Özellikleri

Tekerlek lastiği ile kaplama arasında meydana gelen gürültüyü etkileyen üç tane kaplama özelliği, kaplamanın yüzey dokusu, gözenekliliği ve rijitliğidir.

Yüzey dokusu, kaplama yüzeyindeki girinti ve çıkıntılar olarak düşünülebilir. Bu girinti ve çıkıntılar daha önceki bölümde anlatıldığı üzere, dalga boyuna bağlı olarak

kısa veya uzun mesafede değişebilmektedirler. Araç dışındaki gürültü, dalga boyu 10 ile 150 mm arasında değişen doku tiplerinden daha çok etkilenmektedir. Ayrıca negatif dokunun da gürültü açısından faydalı olduğu kanıtlanmıştır. Negatif doku, kaplama yüzeyinin büyük ölçüde düz olmasını ve ara ara da girintilerin olmasını ifade etmektedir. Kaplama yüzeyinin büyük ölçüde düz olması, gürültüye sebep olan çıkıntıların fazla olmaması anlamına gelmektedir. Gürültü seviyesi düşük kaplama elde edebilmek için, kaplama yüzey dokusunun dalga boyunun 10 mm altında tutulmasını ve olabildiğince negatif dokunun elde edilmesini sağlamak gerekmektedir (Şekil 5.17).



Şekil 5.17 : Gürültü seviyesi düşük bir kaplama için iyi ve kötü doku tanımı [34].

Gözeneklilik ise, malzemenin hava hacminin toplam hacmine oranı olarak tanımlanmaktadır. Üstyapıda kullanılan malzemelerin gözenekliliği genellikle % 5'ten azdır. Gözenekliliğin % 20 veya daha fazla bir değere yükselmesi, havanın kaplama içerisindeki akışı sayesinde gürültünün azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Gözenekli kaplamalarda ayrıca, kaplama ile tekerlek lastiği arasında daha düşük bir temas alanı mümkün olmaktadır ve bu da hava için ilave akış yolu sağlayarak gürültüyü azaltmaktadır. Gürültü seviyesi düşük bir kaplama elde etmek için, gözenekliliğin % 20 ve üzerinde tutulması faydalı olmaktadır. Buna rağmen, hava boşluklarının artması kaplamanın dayanıklılığını etkileyebilmektedir. Bu sebeple bu durumun dengede tutulması gerekmektedir.

Kaplama yüzeyinin rijitliği de gürültüyü etkileyen bir parametre olmakla birlikte, etkisi gözenekliliğe ve yüzey dokusuna göre daha düşüktür. Rijitliğin azaltılması, gürültü derecesini azaltmasına rağmen, rijitliği az olan bu kaplamalar dayanıklılık açısından tehlikeli olabilmektedir [34].

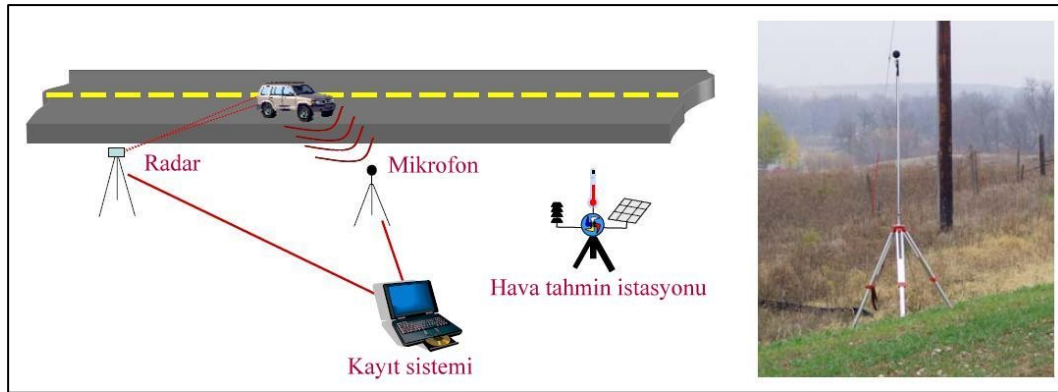
5.5. Karayolu Trafik Gürültüsü Ölçüm Yöntemleri

Karayolu trafik gürültüsü tekerlek lastiği-kaplama gürültüsü, taşıt iletim elemanlarının gürültüsü, aerodinamik gürültü gibi çeşitli gürültülerin birleşimidir. Meydana gelen bu gürültü, trafik hacmine ve taşıt cinslerine, işletme hızına, çevresel koşullara (rüzgar yönü ve hızı vb.), kaplama cinsine, bariyer bulunmasına vb. gibi faktörlere bağlı olmaktadır. Bu gibi faktörlerin değişkenliği, trafik gürültüsünün doğru bir şekilde ölçülmesini genellikle zorlaştırmaktadır [29].

Karayolu trafik gürültüsü ölçüm yöntemlerine bakıldığında ölçümleri iki grupta toplamak mümkün olmaktadır. Bunlar, karayolu kenarında yapılan ölçümler ve araç üzerinde (tekerlek lastiğinde) yapılan ölçümler olarak tanımlanabilir.

5.5.1. Karayolu kenarında yapılan ölçümler

Gürültüyü ölçmede kullanılan en yaygın yöntem, yol kenarında yapılan ölçümlerdir. Genellikle yol kenarı ölçümleri olarak bilinen bu yöntemlerle, yoldan 7.5 ya da 15 m uzağa yerleştirilen cihazlarla gürültü ölçülmektedir. Bu yöntemler mikrofona kullanılarak gürültü seviyesinin ölçümünü yaptığı gibi, taşıt hızlarını ve taşıt tiplerini de belirlemektedir (Şekil 5.18). Yol kenarı ölçüm yöntemlerinde en yaygın iki ölçüm yöntemi, kontrollü geçiş (controlled pass-by - CPB) ve istatistiksel geçiş (statistical pass-by - SPB) yöntemleridir [34].



Şekil 5.18 : Yol kenarı ölçüm metodu bileşenleri [34].

5.5.1.1. Kontrollü geçiş yöntemi

Kontrollü geçiş yönteminde (controlled pass-by method - CPB), yerden 1.2 m yukarıya ve ölçüm yapılacak şeridin merkezinden 7.5 m öteye yerleştirilen bir mikrofona önünden geçen araçların en yüksek ses düzeyleri ölçülmektedir. Bu

yöntemde ölçüm yapılan araçlar bilinmektedir ve araçlar araç-tekerlek lastiği kombinasyonları referans alınarak amaca uygun bir şekilde seçilmektedir. Yöntemin kontrollü olarak bilinmesinin nedeni budur. Ölçüm amacına bağlı olarak, test koşulları değişebilmektedir. Aracın işletme koşulları ölçümde istenen özelliklere göre ayarlanabilmektedir. Farklı viteslerde, farklı hızlarda ölçüm yapılmak istendiğinde bunlar ayarlanmaktadır. Yağmurun etkisini araştırmak için yol yüzeyi ıslatılarak ölçüm yapılabilir [36].

5.5.1.2. İstatistiksel geçiş yöntemi

İstatistiksel geçiş yönteminde (statistical pass-by method - SPB) de gürültü ölçümü için kurulan düzenek tamamen kontrollü geçiş yöntemindeki gibidir. Fakat, bu yöntemde ölçüm yapılan araçlar trafik akımı içerisinde seyir halinde olan araçlardır. Normal trafik seyri içerisinde seçilen tek bir araca ait pik gürültü seviyesi ölçülmekte ve ayrıca bir radar takometresi aracılığıyla hızı da ölçülmektedir. Farklı kategorilerdeki araçlara ait gürültü ölçümleri ile hız değerleri bir grafik halinde hazırlanmakta ve herhangi bir referans hızdaki ortalama gürültü seviyesi her bir araç tipi için istatistiksel olarak hesaplanabilmektedir. Kabul edilebilir sonuçlar elde edilebilmesi için her taşıt grubundan belli sayıda minimum ölçüm yapılması gerekmektedir [36].

5.5.2. Araç üzerinde yapılan ölçümler

Trafik gürültüsünün aksine tekerlek lastiği ile kaplama arasında meydana gelen gürültünün ölçümünün önemi özellikle de daha gürültüsüz kaplama tasarlamak ve yapılmak istendiğinde artmaktadır. Araç üzerinde yapılan bu ölçümler tekerleğe yakın yerde sesi ölçmektedir. Tekerlek lastiği ile kaplama arasında meydana gelen gürültüyü ölçmek için kullanılan iki yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler kapalı yakınlık (close-proximity - CPX) ve araca monteli ses şiddeti (on-board sound intensity - OBSI) ölçme yöntemleridir. Her iki yöntemde de tekerlek lastiği ile kaplama temas bölgesine yakın bir yere yerleştirilen mikrofonlarla, hareket halindeki araca ait ölçümler yapılmaktadır [34].

5.5.2.1. Kapalı yakınlık yöntemi

Bu yöntemde, bir ya da birkaç mikrofon tekerleğe çok yakın bir yere yerleştirilmekte (tekerlekten 20 cm ötede) ve tekerleğin hareketi boyunca oluşan gürültü yakından ölçülmektedir. Ölçüm yapılacak tekerlek aracın tekerleklerinden biri olabileceği gibi,

özel bir treylerin tekerleği de olabilir. Yapılan ölçümde, diğer kaynaklardan gelen gürültü yalıtılmakta ve tekerlek lastiği ile kaplama arasında oluşan gürültü ölçülmektedir. Bu sebeple metot, gürültü oluşumunda kaplama yüzey dokusu ile tekerlek tipinin etkisini direkt olarak karşılaştırma fırsatı sağlamaktadır. Metotta, diğer kaynaklardan oluşan gürültü yalıtılmasına rağmen, gürültünün yayılma etkisi ihmal edilmektedir. Bu nedenle, kapalı yakınlık yöntemi ile yapılan ölçümde kaplama tipinin tam olarak değerlendirilmesi mümkün olmamaktadır. Buna rağmen, bu yöntemle yapılan ölçümler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [36,37].

5.5.2.2. Araca monteli ses şiddeti ölçme yöntemi

Kapalı yakınlık yönteminde olduğu gibi, bu yöntemde de sadece tekerlek lastiği ile kaplama arasında meydana gelen gürültü ölçülmektedir ve ölçüm, taşıt iletim elemanlarının, motorun ve diğer kaynakların gürültüsünü kapsamamaktadır. Bu yöntemle yapılan ölçümler, gürültü seviyesinde kaplama yüzeyinin etkisini ve kaplama özelliklerinin değişimini değerlendirmede faydalı olmaktadır [38].

Her iki yöntemle ait ekipmanlar Şekil 5.19’da gösterilmiştir.



Şekil 5.19 : Kapalı yakınlık (solda) ve araca monteli ses şiddeti ölçme (sağda) yöntemi test ekipmanları [34].

Kapalı yakınlık yöntemi ve araca monteli ses şiddeti ölçme yöntemleri mikrofonların tekerleğe yakın bir yere yerleştirilerek tekerlek lastiği ile kaplama arasında meydana gelen gürültüyü ölçmeleri bakımından benzer olmalarına rağmen, aralarında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Kapalı yakınlık yönteminde ses basıncına ait ölçüm yapılırken, araca monteli ses şiddeti ölçme yönteminde ses şiddeti ölçülmektedir. Her iki yöntemde de mikrofonun yerden yüksekliği, tekerlek lastiğine olan mesafesi ve tekerlek lastiği değme alanının ön ve arka noktalarına olan mesafesi farklılık

göstermektedir. Bu da sesin oluşumu ve amplifikasyon mekanizmalarının testlerle ölçülen seste farklı bir rolü bulunduğu anlamına gelmektedir. Gerekemediği sürece, kapalı yakınlık yöntemi etrafı kapalı bir treyler üzerinde yapılmaktadır ve bu da mikrofonu diğer ses kaynaklarından yalıtılmaktadır [34].

Sessiz kaplamaların kullanılması amaç haline gelirken, tekerlek lastiği ile kaplama arasında meydana gelen gürültünün laboratuvar koşullarında ilgili test yöntemleriyle hızlı ve kesin bir şekilde ölçülmesi kaçınılmaz olmaktadır. Bugün kullanılmakta olan bir yöntem, laboratuvar silindiridir. Şekil 5.20’de gösterilen tekerlek lastiği-kaplama test ekipmanı (tire-pavement test apparatus - TPTA), tekli test panelleriyle temas halinde olan tekerleğin monte edildiği bir dönen koldan oluşmaktadır. Test ekipmanı tekerlek lastiği-kaplama gürültüsünü yaklaşık 50 km/sa (30 mph) hıza varan koşullarda gerçek kaplama malzemeleriyle ölçmeye imkan tanımaktadır. Mikrofonlar ve diğer test ekipmanları yukarıda anlatılan her iki yöntemle de ölçüm yapabilmek için ekipmana yerleştirilebilmektedir.



Şekil 5.20 : Tekerlek lastiği-kaplama test ekipmanı ve örnek bir kaplama yüzeyi [34].

6. BETON YOLLARDAKİ FARKLI YÜZEY TİPLERİNİN GÜRÜLTÜ DÜZEYİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Betonun yola serilmesinden sonra, oluşturulan beton yolun yüzeyinin bazı yöntemler uygulanarak pürüzlendirilmesi gerekmektedir. Daha önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi yol pürüzlülük derecesinin yol performansı üzerindeki etkisi büyüktür. Özellikle de yol yüzeyinin mikrodokusu ve makrodokusu bu performanslar üzerinde olumlu etkiler yaratabilmektedir. Bu sebeple de yolun çeşitli tekniklerle pürüzlendirilmesi gerekmektedir. Bu tekniklerden bazıları taze beton yüzeyine uygulanırken, bazıları da sertleşmiş beton yüzeyine uygulanmaktadır. Yüzey pürüzlendirme tekniklerinin dışında, geçirimli beton kaplama gibi farklı yapım tekniğiyle oluşturulan beton yol yüzeyleri de mevcuttur. Bu bölümde, bu tekniklerin uygulanışı ve bu tekniklerin tekerlek lastiği ile kaplama arasında meydana gelen gürültüyü nasıl etkilediği anlatılmıştır.

6.1. Sürüklenme Yöntemleri ile Oluşturulmuş Beton Yol Yüzeyleri

Sürüklenme yönteminin (dragging method) uygulanması basit olarak, kullanılacak malzemenin taze beton yüzeyi boyunca sürüklenmesi şeklindedir. Beton yol pürüzlendirilmesinde en ucuz yöntem olarak bilinmektedir. Yöntemde kullanılan malzemeler genellikle suni çim halı (artificial turf), çuval bezi (burlap), saplı süpürge (broom) ve fırçadır. Bu yöntemle günümüzde pratikte, yol yüzeyi genellikle trafik yönüne paralel yani boyuna doğrultuda pürüzlendirilmektedir [39].

Suni çim halı ile pürüzlendirilmiş beton yol yüzeyleri, basit olarak ters çevrilmiş suni çim halının kaplama yüzeyi boyunca sürüklenmesiyle oluşturulmaktadır (Şekil 6.1). Yöntemde oluşturulan olukların derinlikleri 1.5 ile 3 mm arasında değişmektedir. Çuval bezi ile pürüzlendirilmiş yol yüzeyleri ise, nemli ve kalın çuval bezinin yol yüzeyi boyunca sürüklenmesiyle meydana gelmektedir (Şekil 6.2). Bu yöntemde de yine oluşturulan olukların derinlikleri 1.5 ile 3 mm arasında olmaktadır [30].



Şekil 6.1 : Suni çim halı ile yüzey pürüzlendirilmesi (solda) ve suni çim halı ile pürüzlendirilmiş beton yol yüzeyinin görüntüsü (sağda) [30].



Şekil 6.2 : Çuval bezi ile yüzey pürüzlendirilmesi (solda) ve çuval bezi ile pürüzlendirilmiş beton yol yüzeyinin görüntüsü (sağda) [30].

Ülkemizde yapılan Afyonkarahisar'daki beton yolun yüzey pürüzlendirilmesinde ise enine doğrultuda fırçalama yöntemi uygulanmıştır (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 : Afyonkarahisar'da yapılan beton yolun yüzeyinin enine yönde fırça sürüklenmesi yöntemi ile pürüzlendirilmesi [8].

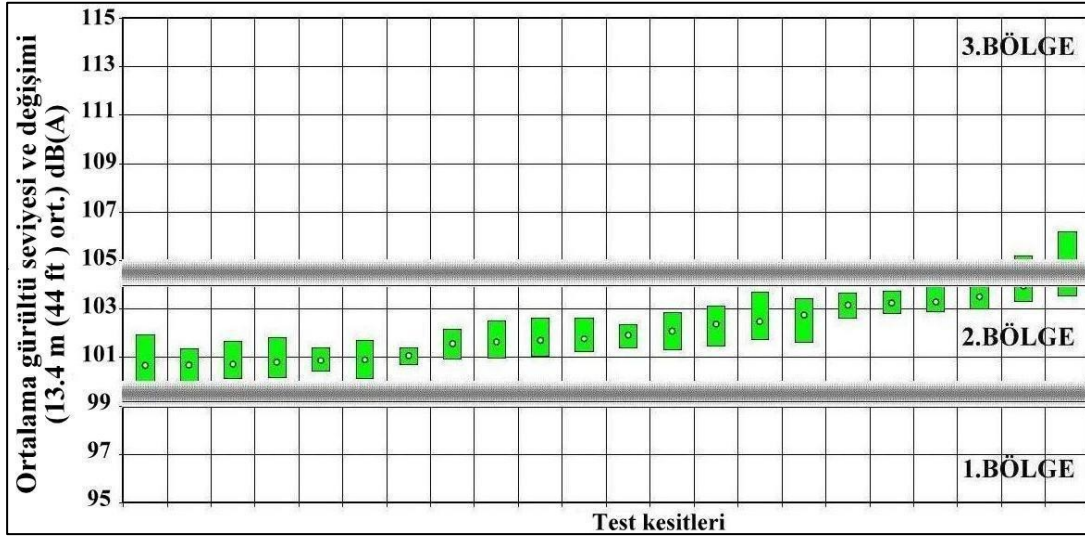
Sürükleme yönteminde pürüzlendirme için kullanılacak malzeme, işlem sonunda elde edilecek yüzeyi etkilemektedir. Kullanılacak malzemenin geometrisi, ağırlığı ve nem oranı da önemli olmaktadır. Sürükleme yönteminde kullanılan bütün malzemeler işlem süresince harcı toplayabilmektedir. Bu durumda kullanılan malzeme değiştirilmeli ya da yıkanmalıdır [39]. Almanya’da beton karayolu yüzeylerinin büyük bir çoğunluğu çuval bezi kullanılarak pürüzlendirilmektedir. Bu yöntemin uygulanmasıyla pürüzlendirilmiş yol yüzeylerinde yeterli sürtünme sağlanmaktadır ve hava pompalanması olayı en aza indirgenmektedir. Almanya’da çuval bezi ile pürüzlendirme uygulamasıyla ilgili öneriler şunlardır:

- Kullanılacak çuval bezinin ağırlığı minimum 300 g/m² olmalı,
- En az 2 m’lik bir beton temas uzunluğuna sahip olmalı,
- İlk kullanımdan önce çuval bezi hafifçe nemlendirilmeli,
- Çuval bezi her gün en az bir kere yıkanmalı ya da değiştirilmelidir.

Sürükleme yöntemi gibi yüzeyde derin oluklar oluşturmeyen tekniklerin kullanılmasının daha sessiz kaplamalar meydana getirmesinin yanı sıra, özellikle de yüksek hızlı yollarda yeterli kayma direnci sağladığı da bildirilmiştir. Bu konuda yapılan çalışmalar bu yöntemlerle oluşturulmuş yüzeylerin, 72 km/sa (45 mph) hızdan daha düşük hızlı yollarda yeterli olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, Minnesota’da kaplamalar üzerine yapılan değerlendirmeler, beton yollarda sürükleme yöntemlerinin kullanılmasının gürültü seviyesi ve yüzey sürtünmesi açısından geleneksel sıcak asfalt betonu kaplamalarla kıyaslanabilir derecede olduğu sonucunu göstermiştir. Özetle, sürükleme yöntemleri ile pürüzlendirme teknikleri maliyet açısından daha ekonomik olmakta ve diğer pürüzlendirme tekniği alternatiflerine göre çoğunlukla daha sessiz kaplamalar meydana getirmektedir. Bununla birlikte hem ilk zamanlarda hem de servis süresi boyunca yeterli sürtünme sağlayıp sağlamadığı ölçülmelidir. Bu da aşınma direncini iyileştirebilecek malzeme ve karışımlarla sağlanabilmektedir [30].

Şekil 6.4’te sürükleme yöntemi ile pürüzlendirilmiş çeşitli beton yol yüzeylerinde araca monteli ses şiddeti (OBSI) ölçme yöntemiyle 96 km/sa (60 mph) hızda elde edilmiş ortalama, maksimum ve minimum gürültü sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlar gösterilirken gürültü seviyeleri üç bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgelerden birincisi, 99-100 dB(A)’ya kadar olan gürültü seviyelerini kapsamaktadır ve düşük gürültü seviyesi olarak tanımlanmaktadır. İkinci bölge 99-100 dB(A) ile 104-105 dB(A)

arasında değişen gürültü seviyelerinden oluşmaktadır ve orta gürültü seviyesi olarak ifade edilmektedir. Üçüncü bölge ise, 104-105 dB(A) ve üstünde kalan gürültü seviyelerini kapsamakta ve yüksek gürültü seviyesi olarak tanımlanmaktadır [30].



Şekil 6.4 : Sürüklenme yöntemi ile elde edilmiş beton yol yüzeylerinde araca monteli ses şiddeti ölçme yöntemi ile elde edilmiş gürültü sonuçları [30].

6.2. Yüzeyde İnce Kanallar Açma Yöntemi ile Oluşturulmuş Beton Yol Yüzeyleri

Yüzeyde ince kanallar açma yöntemi (tining method), taze beton yol yüzeyinin pürüzlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Yöntem enine veya boyuna doğrultuda uygulanabilmektedir. Yöntemde elle ya da mekanik bir araca bağlı olarak kontrol edilen metal tarak türü ekipmanlar kullanılarak taze beton yol yüzeyinde ince kanallar açılmaktadır (Şekil 6.5).



Şekil 6.5 : Yüzeyde ince kanallar açma yönteminin uygulanışı [39].

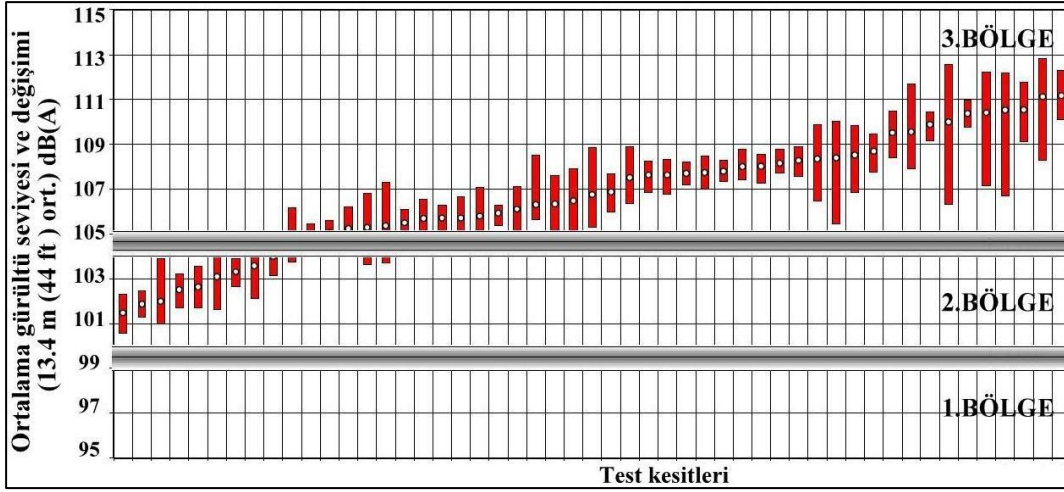
6.2.1. Yüzeyde enine doğrultuda ince kanallar açma yöntemi

Yüzeyde enine doğrultuda ince kanallar açma yöntemi yüksek hıza sahip beton yollarda yaygın bir şekilde kullanılan bir pürüzlendirme yöntemidir. Yeni yapılmış beton yol yüzeylerinde dayanıklı ve yüksek sürtünme değerine sahip yüzeyler elde etmek için pahalı olmayan bir yöntemdir. Beton karışım özelliklerine bağlı olarak, kaplamanın servis ömrü boyunca istenen sürtünme özellikleri sağlanabilmektedir. Yöntem gürültü açısından, istenmeyen düzeyde gürültü oluşumuna sebep olmaktadır. Yöntemde ince kanallar trafik yönüne dik şekilde oluşturulmaktadır. Kanallar arasındaki boşluk üniform olabileceği gibi rasgele de olabilmektedir. Kanal genişliği ve derinliği genellikle 3 mm olarak tasarlanmakta ve derinlik 1.5 ile 6 mm arasında değişebilmektedir. Kanallar arasındaki üniform aralık mesafesi 12.5 mm ile 25 mm arasında değişmektedir (Şekil 6.6). Gürültünün azaltılması açısından kanalların rasgele aralıklarda açılması önerilmektedir. 10 ile 76 mm arasında değişen geniş bir rasgele kanal aralıklarının gürültüyü önlediği bildirilmektedir.



Şekil 6.6 : Enine doğrultuda ince kanallar açma yönteminin üniform (solda) ve rasgele (sağda) aralıklarda uygulanmasıyla pürüzlendirilmiş beton yol yüzeyinin görüntüsü [30].

Enine doğrultuda uygulanan yöntem, yüzeyde açılan kanalların açılı bir şekilde olması şeklinde de uygulanmaktadır. Bu durumda kanallar trafik yönüne dik değil, açılı bir şekilde oluşturulmaktadır. Yöntem açılı şekilde uygulandığında, dik yönde uygulanan teknikle aynı seviyede sürtünme sağladığı, gürültü açısından da faydalı olduğu ispatlanmıştır. Şekil 6.7’de enine doğrultuda ince kanallar açma yöntemi ile pürüzlendirilmiş çeşitli beton yol yüzeylerinde araca monteli ses şiddeti (OBSI) ölçme yöntemiyle 96 km/sa (60 mph) hızda elde edilmiş ortalama, maksimum ve minimum gürültü sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 6.7 : Enine doğrultuda ince kanallar açma yöntemi ile elde edilmiş beton yol yüzeylerinde araca monteli ses şiddeti ölçme yöntemi ile elde edilmiş gürültü sonuçları [30].

6.2.2. Yüzeyde boyuna doğrultuda ince kanallar açma yöntemi

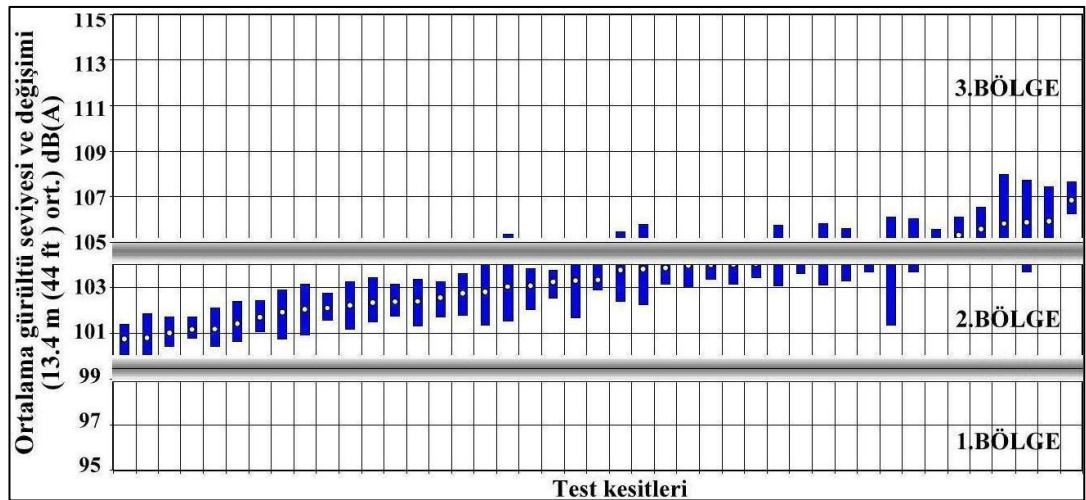
Boyuna doğrultuda ince kanallar açma yöntemi, kanal açmak için kullanılan tarak şeklindeki ekipmanın kaplama doğrultusu boyunca hareket ettirilmesi haricinde, enine doğrultuda uygulanan yöntemle aynı biçimde uygulanmaktadır (Şekil 6.8).



Şekil 6.8 : Boyuna doğrultuda ince kanallar açma yönteminin uygulanmasıyla elde edilmiş beton yol yüzeyi [30].

Yöntemin uygulanmasıyla genellikle daha düşük gürültü özelliklerine sahip kaplamalar elde edilebilmektedir ve bu da yöntemle olan ilgiyi artırmaktadır. Diğer performans özelliklerinin eşit olmasının yanında, boyuna doğrultuda

pürüzlendirilmiş yüzeylerin, enine doğrultuda pürüzlendirilmiş yüzeylere göre daha düşük sürtünme katsayılarına sahip olduğu bilinmektedir. Bunun nedeni de tekerin yol tutuş kuvveti bakımından kanalların şeklinden kaynaklanmasıdır. Bununla birlikte, yöntemin yatay kurplarda aracın savrulmasını önlediği ve güvenliği artırdığı da bilinmektedir. Boyuna doğrultuda ince kanal açma yönteminin uygulandığı yüzeylerde, en iyi gürültü azaltma performansını sağlayabilmek için bazı tasarım boyutlarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Oluşturulan kanalların genişliği 2,5 ile 3,5 mm arasında ve derinliği de 3 mm olmalıdır. Ayrıca kanallar arasında da 19 mm uzunluğunda üniform boşluklar olmalıdır. Kanal derinliğinin artmasının, daha fazla gürültü oluşumuna sebep olduğu bilinmektedir. Yapılan çalışmalar bu yöntemle pürüzlendirilmiş beton yol yüzeylerinin uzun süreli etkilerinin kaplamada kullanılan beton karışımından etkilendiğini göstermiştir. Kaplamanın sürtünme özelliklerinin ve dayanıklılığının gelişmesi için kullanılacak karışımın en az % 25 oranında silisli kum içermesi gerekmektedir. Karışım tasarımından bağımsız olarak, çivili lastik kullanımının yüzey dokusunu zamanla azalttığı görülmüştür. Uygun bir şekilde tasarlandığında ve uygulandığında, boyuna doğrultuda ince kanal açma yöntemiyle, enine doğrultuda pürüzlendirilmiş beton kaplamalara ve asfalt betonu kaplamalara göre dayanıklılık açısından daha iyi kaplamalar elde edilebilmektedir. Şekil 6.9'da boyuna doğrultuda ince kanallar açma yöntemi ile pürüzlendirilmiş çeşitli beton yol yüzeylerinde araca monteli ses şiddeti (OBSI) ölçme yöntemiyle 96 km/sa (60 mph) hızda elde edilmiş ortalama, maksimum ve minimum gürültü sonuçları gösterilmiştir [30].



Şekil 6.9 : Boyuna doğrultuda ince kanallar açma yöntemi ile elde edilmiş beton yol yüzeylerinde OBSI yöntemi ile elde edilmiş gürültü sonuçları [30].

6.3. Aşındırma Yöntemi ile Oluşturulmuş Beton Yol Yüzeyleri

Aşındırma yöntemi (diamond grinding method), sertleşmiş beton kaplama yüzeyinin ince bir tabakasının birbirine yakın şekilde yerleştirilmiş elmaslı testere ağızlarıyla aşındırılması şeklinde uygulanmaktadır. Elmaslı testere ağızları yan yana dizilerek oluşturulmakta ve yüzeyden belirli bir mesafe yukarıda hareket etmektedirler [30].

Şekil 6.10’da yöntemde kullanılan ekipmanlar gösterilmiştir.

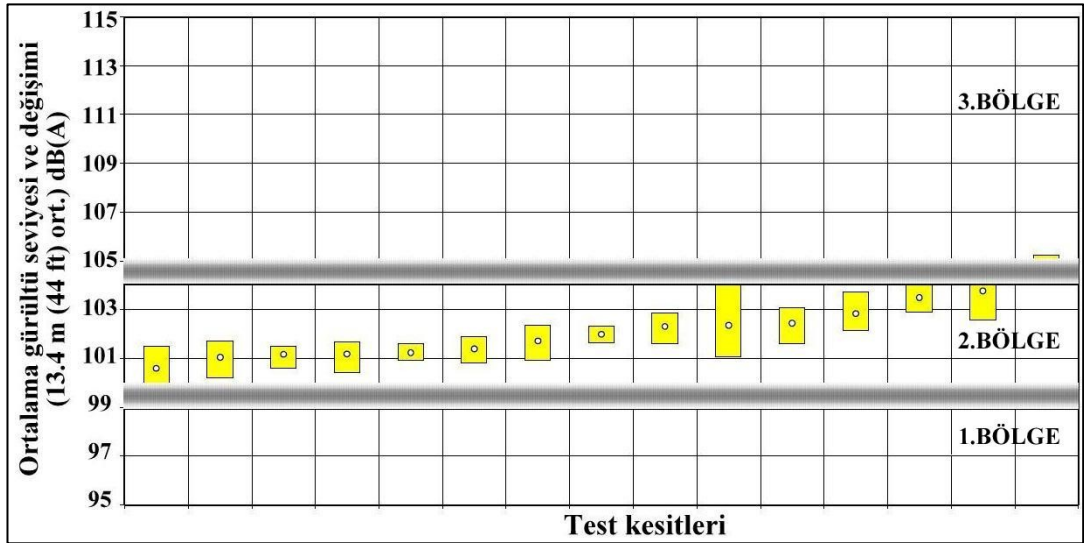


Şekil 6.10 : Aşındırma yönteminde kullanılan elmaslı testere ağızları (sağda) ve bu ağızların yerleştirildiği ekipman (solda) [40].

Aşındırma yöntemi beton kaplamalarda kullanılan en uygun maliyetli iyileştirme tekniklerinden biridir. Yöntemde kullanılan ekipmanlarla beton kaplama yüzeyinin 5-7 mm’lik kısmı aşındırılmaktadır ve elde edilen yüzey, daha sessiz ve pürüzsüz olmaktadır. Yöntemin uygulanmasından sonra yüzeyde birbirine yakın şekilde oluşturulan yivler, çok iyi bir yüzey dokusu oluşturmakta ve kaplamanın üstün sürtünme özelliklerine sahip olmasını sağlamaktadır. Yöntemin uygulanmasının en yaygın nedeni, derzlerde meydana gelen aşırı bozulmalardır. Bununla birlikte, derzlerdeki yük aktarımı ve çatlaklar iyileştirilmezse bozulmalar tekrar oluşmaktadır. Bu durumda yöntem kısa süreli de olsa bir çözüm olarak kullanılabilir. Yöntemin mevcut kaplamalarda yüzey düzgünlüğü ve kayma direnci açısından da etkili olduğu ispatlanmıştır. Yöntem ayrıca yeni yapılan beton kaplamalarda da, yapımda yapılan hatalardan kaynaklanan yüzey pürüzlülüğünü düzeltmek ve üniform bir kayma direnci ve görüntü sağlamak için de kullanılmaktadır. Yöntemin kaplama kalınlığını azaltması ve böylece kaplamanın uzun süreli performansını etkilemesi sebebiyle ihtiyaç duyulan durumlarda kullanılması önerilmektedir [41].

Aşındırma yöntemi, mevcut kaplamaların yüzey düzgünlüğü ve sürtünme özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmasının yanı sıra kaplama ile tekerlek

lastiği arasında meydana gelen gürültüyü azaltmak amacıyla da kullanılmaktadır. Bu sebeple de yöntemin, yeni yapılan beton kaplamalarda da kullanılması ihtimali artmaktadır. Yöntemin uygulanmasıyla kaplamanın makrodokusu geliştirilmekte ve bazı durumlarda da mikrodokusunun artmasıyla karşılaşılmaktadır. Ayrıca, doğrusal ünlformluk daha kolay elde edilmekte ve sürücüler açısından boyuna doğrultuda ince kanal açma yöntemine göre daha cazip olmaktadır. Enine doğrultuda ince kanal açma yöntemi ile aşındırma yöntemini karşılaştıran bir çalışmada, test kesitleri yapılmış ve bu kesitler güvenlik, gürültü ve diğer yol yüzey karakteristikleri açısından değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada yol kenarında yapılan ölçümlere göre aşındırma yöntemi ile pürüzlendirilmiş kaplamalarda gürültü seviyesi 2 ile 5 dB(A) daha az olmuştur. Gürültü ölçümlerinin bir yıl sonra yapılması sonucunda ise gürültü seviyelerinde önemli bir değişiklik olmadığı sonucuna varılmıştır. Şekil 6.11’de aşındırma yöntemi kullanılarak pürüzlendirilmiş çeşitli beton yol yüzeylerinde araca monteli ses şiddeti (OBSI) ölçme yöntemiyle 96 km/sa (60 mph) hızda elde edilmiş ortalama, maksimum ve minimum gürültü sonuçları gösterilmiştir [30].



Şekil 6.11 : Aşındırma yöntemi ile elde edilmiş beton yol yüzeylerinde araca monteli ses şiddeti ölçme yöntemi ile elde edilmiş gürültü sonuçları [30].

Aşındırma yöntemi uygulanan beton yol yüzeylerinde Wisconsin’de yapılan ve 6 yıl süren bir çalışmada bu yollarda meydana gelen kazalar incelenmiştir. Çalışmada, 30 tane aşındırma yöntemi ile pürüzlendirilmiş beton yol ile 21 tane yüzeyde ince kanal açma yöntemi ile pürüzlendirilmiş beton yolda meydana gelen kaza oranları incelenmiştir. Bütün kaplama tipleri içerisinde aşındırma yöntemi ile pürüzlendirilmiş olanlarda daha düşük kaza oranları elde edilmiştir (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1 : Farklı pürüzlendirme yöntemi ve kaplama durumları için kaza oranları [42].

Kaplama durumu	Kaza oranı (100 milyon taşıt-km başına)		Aşındırma yöntemi ile pürüzlendirilmiş kesitlerde kaza oranındaki düşüş (%)
	Aşındırma yöntemi ile pürüzlendirme	İnce kanal açma yöntemi ile pürüzlendirme	
Kuru	65	112	42
Islak	99	170	42
Karlı / Buzlu	173	205	16

6.4. Yivlendirme Yöntemi ile Oluşturulmuş Beton Yol Yüzeyleri

Yivlendirme yöntemi (diamond grooving method) hem beton kaplamalarda hem de asfalt betonu kaplamalarda uygulanan bir yüzey iyileştirme yöntemidir. Yöntemde 19 mm aralıklarla yerleştirilmiş elmaslı testere ağızları kullanılarak kaplama yüzeyinde yivler açılmaktadır [41].

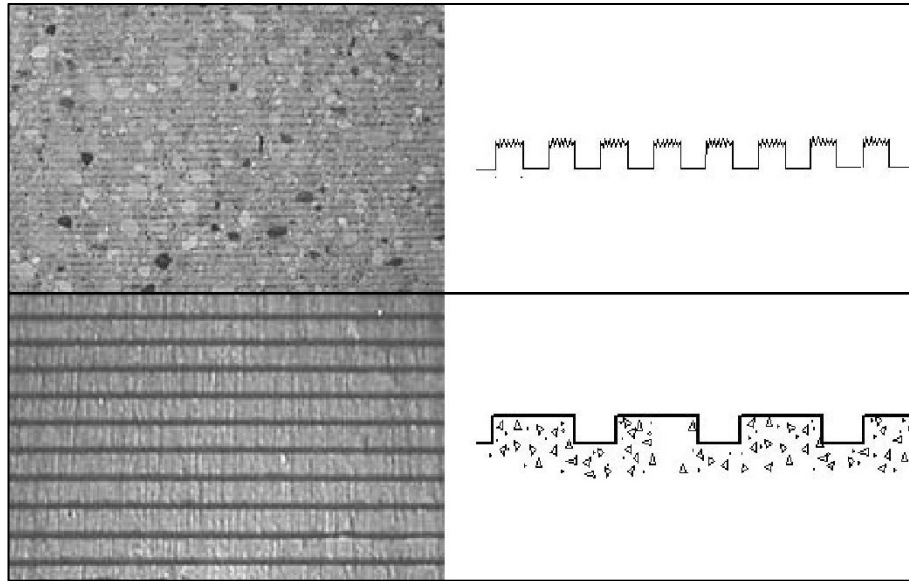
Şekil 6.12’de boyuna doğrultuda yivlendirme yöntemi uygulanmış beton yol yüzeyleri gösterilmiştir.



Şekil 6.12 : Boyuna doğrultuda uygulanmış yivlendirme yöntemi ile elde edilmiş beton yol yüzeyleri [43].

Aşındırma yönteminde kullanılan teknik ve ekipman bu yöntem için de kullanılmaktadır. Bununla birlikte, aşındırma yönteminde amaç, sürüş kalitesini ve yüzey dokusunu iyileştirmekken, yivlendirme yönteminde amaç, genellikle yüzey suyuna drenaj kanalı oluşturarak, kızıklama etkisini ve kazaları azaltmaktır. Tasarım açısından bakıldığında, iki yöntem arasındaki temel fark, yivler arasındaki mesafe olmaktadır. Yivlendirme yönteminde bu mesafe, aşındırma yöntemine göre yaklaşık

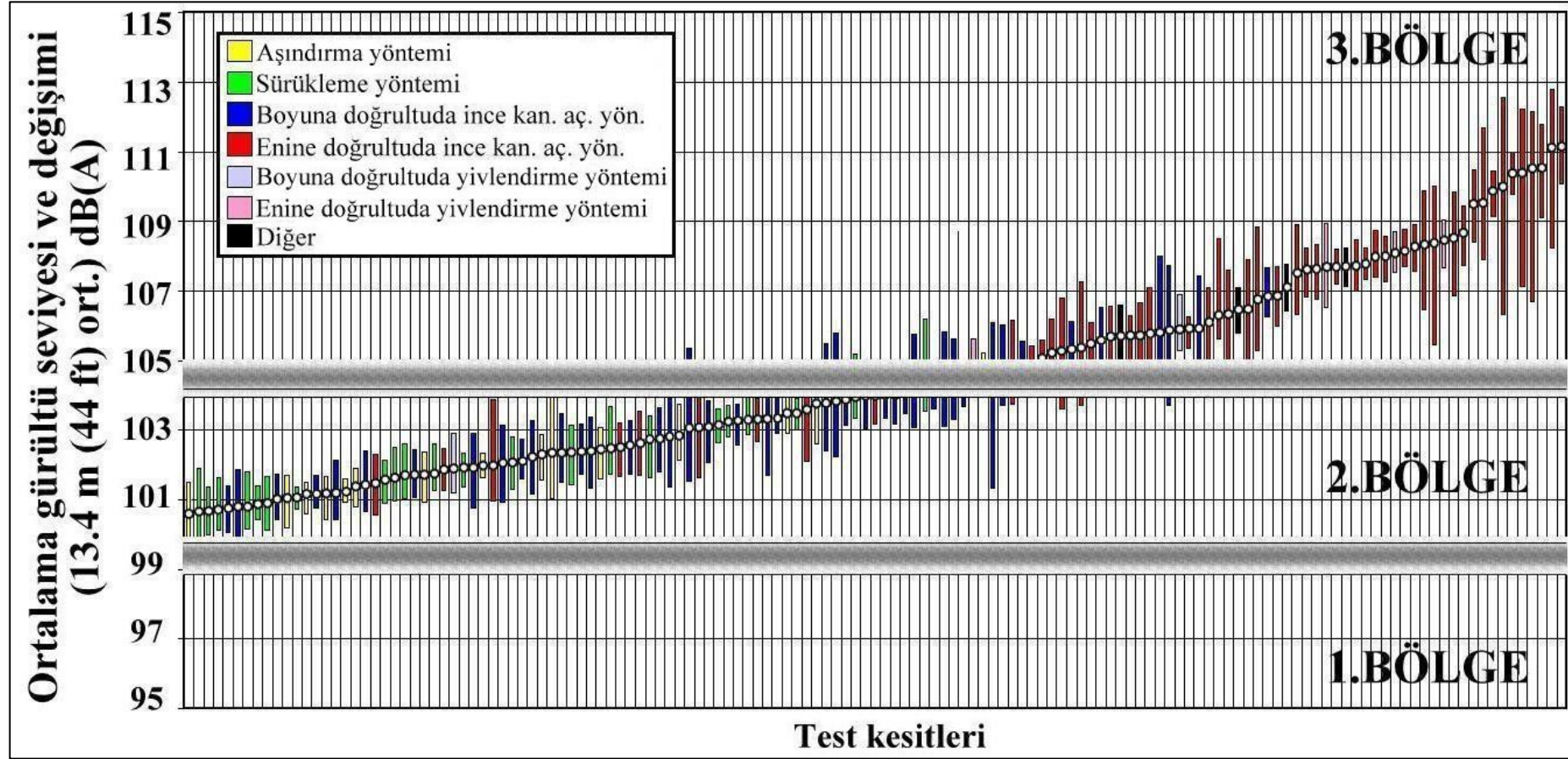
6 kat daha fazla olmaktadır (Şekil 6.13). Her iki yöntemde de yiv genişliği 2-3 mm civarındayken, yiv derinliği aşındırma yönteminde 1,5-2 mm, yivlendirme yönteminde ise 3-6 mm olmaktadır. Yivlendirme yöntemi uygulanmış kaplamanın drenaj özellikleri geliştirilmektedir. Yüzey dokusu iyileştirilmesi açısından uygun maliyetli bir yöntem olmasının yanı sıra kaplamanın makrodokusunda önemli bir artış sağlamaktadır. Yivlendirme yöntemi boyuna ve enine doğrultuda uygulanabilen bir yöntemdir. Yöntemin enine doğrultuda uygulanması yapımda trafik kontrolü gibi karşılaşılabilecek zorluklardan dolayı yaygın kullanılan bir teknik olmamaktadır. Bununla birlikte yöntemin enine doğrultuda uygulanması yüzey suyu drenajı için daha avantajlı olmaktadır. Yöntemin boyuna doğrultuda uygulanması drenaj açısından enine doğrultuda uygulanması kadar etkili olmasa da özellikle yatay kurplarda araçların savrulmasını ve bu sebepten kaynaklanan kazaların azaltılmasında etkili olmaktadır [41].



Şekil 6.13 : Aşındırma (üstte) ve yivlendirme (altta) yöntemleri [41].

Buraya kadar anlatılan pürüzlendirme yöntemlerinin gürültüye olan etkisine bakıldığında özellikle sürüklenme ve aşındırma yönteminin gürültü açısından kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir. Her iki yöntemde de test kesitlerinin yaklaşık olarak tamamında gürültü sonuçları 2.bölgede kalmaktadır. İnce kanallar açma yöntemine bakıldığında, yöntemin boyuna doğrultuda uygulanması gürültü açısından enine doğrultuda uygulanmasına göre daha avantajlı olmaktadır.

Şekil 6.14'te buraya kadar anlatılmış yöntemlerle elde edilmiş test kesitlerinde elde edilmiş gürültü sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 6.14 : Farklı yöntemlerle pürüzlendirilmiş çeşitli beton yol test kesitlerinde araca monteli ses şiddeti (OBSI) ölçme yöntemi ile elde edilmiş gürültü sonuçları [30].

6.5. Soyulmuş Agregalı Beton Yol Yüzeyleri

Soyulmuş agregalı beton yol yüzeyi, betonun yüzey harcının yüzey sertleşmeden önce kaldırılması, böylece agreganın açığa çıkarılması şeklinde oluşturulmaktadır. İşlem bitirilmiş fakat henüz sertleşmemiş beton yol yüzeyine priz geciktirici (özellikle şeker) püskürtülerek, buharlaşmayı önlemek amacı ile yüzeyin plastik bir örtü ile örtülmesini kapsamaktadır. Kaplamanın yapılması işleminden 12-16 saat kadar sonra, gerekli enine ve boyuna derzler açılmakta, belirli bir süre sonra da çevre koşullarına da bağlı olarak, plastik örtü yol yüzeyinden kaldırılarak priz geciktirici uygulanmış yüzeyin harcı fırçalanarak kaldırılmakta ve böylece iri agregaya açığa çıkarılmaktadır. Kullanılan priz geciktiriciye ve çevre koşullarına bağlı olarak fırçalama işlemi kaplamanın yapımından sonraki 24 ile 72 saatlik bölümde uygulanmalıdır. İşlemin yapılacağı zaman büyük önem taşımaktadır. Fırçalama işleminin çok erken yapılması iri agreganın yüzeyden kopmasına, aksi takdirde geç yapılması da iri agreganın açığa çıkarılamamasına sebep olmaktadır. Soyulmuş agregalı betonun uygulanmasının öncelikli amacı yol yüzeyinde yüksek bir kayma direnci elde etmektir. Yapılan gözlemlerle birlikte soyulmuş agregalı beton yol yüzeylerinin diğer beton yol pürüzlendirme teknikleriyle oluşturulmuş beton yol yüzeylerine ve bazı asfalt beton kaplama yüzeylerine göre önemli bir gürültü azaltma potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Soyulmuş agregalı beton yol yüzeylerinde optimum makrodokunun ve düşük megadokunun elde edilmesi önemlidir. Optimum makrodokunun elde edilmesi için açıkta bırakılacak agregaların dane boyutunun 4-8 mm olması gerekmektedir. Yüksek bir kayma direnci elde edilmesi için, kullanılacak agregaların minimum 53 olmak şartıyla yüksek cilalanma değerine sahip olması gerekmektedir. Soyulmuş agregalı beton yollar bir veya iki tabaka halinde yapılabilmeyle birlikte, iki tabaka halinde yapılması tercih edilmektedir. Maliyeti minimuma indirmek için, cilalanmaya ve aşınmaya karşı dayanıklı pahalı agregaların sadece üst tabakada kullanılması önerilmektedir. Alt tabaka geleneksel beton kaplamada kullanılan betondan yapılabileceği gibi, geri dönüştürülmüş beton malzemeleri kullanılarak da yapılabilir [35].

Soyulmuş agregalı beton yollar Avrupa ülkelerinde yaygın bir şekilde kullanılmakla birlikte yöntem Amerika'da fazla uygulanmamaktadır. Soyulmuş agregalı beton yollar genellikle iki tabaka halinde inşa edilmekte ve üst tabaka kalınlığı

38 ile 70 mm arasında değişmektedir. Kullanılan beton karışımı silisli kum ve yüksek kaliteli agregadan oluşmaktadır. Yapılan çalışmalar daha küçük agreganın kullanılmasıyla daha iyi gürültü azaltımı sağlandığını göstermiştir. Beton yüzeyindeki harcın kaldırılmasında fırça kullanılacağı gibi suyla da işlem yapılabilir (Şekil 6.15). Doğru bir şekilde tasarlanması ve yapılması halinde, soyulmuş agregalı beton kaplamalar gürültünün azalmasını sağlamakta ve yüzey sürtünmesini iyileştirmektedir. Bununla birlikte geleneksel beton kaplamalarla eşit seviyede dayanıklılık da sağlamaktadırlar.



Şekil 6.15 : Yüzeydeki harcın yikanarak çıkarılması (solda) ve elde edilmiş soyulmuş agregalı beton yol yüzeyi [30].

Hollanda’da 20 mm’lik agregaların kullanıldığı bir soyulmuş agregalı beton yol yüzeyinde, Belçika’da maksimum 32 mm’lik agregaların kullanıldığı soyulmuş agregalı beton yol yüzeyine göre daha düşük gürültü seviyesi gözlenmiştir. İsveç’te yapılan başka bir çalışmada da bazı beton kaplamalar ve asfalt betonu kaplamalar aşınma dayanımı, sürtünme ve gürültü açısından yoğun trafik koşulları altında karşılaştırılmıştır. Hem derzli donatısız hem de sürekli donatılı beton kaplama test kesitleri yüzeylerinde soyulmuş agreganın uygulanmıştır. Beton kaplamalarda 8 ve 16 mm olmak üzere iki farklı maksimum agreganın boyutu kullanılmıştır. Çalışmada, gürültü ölçümleri kapalı yakınlık yöntemine göre yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Yapılan ilk ölçümlerde, asfalt betonu kaplamalarla karşılaştırıldığında, 16 mm’lik agreganın kullanıldığı soyulmuş agregalı beton yol yüzeyinde 1-1,5 dB(A) ve 8 mm’lik agreganın kullanılan beton yol yüzeyinde de 3-3,5 dB(A) daha düşük gürültü seviyesi gözlenmiştir.

- Bir yıl sonra yapılan ölçümlerde, asfalt betonu kaplama ile 16 mm'lik agregası kullanılan soyulmuş agregalı beton yol yüzeylerinde gürültü seviyelerinin aynı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte 8 mm'lik agregası kullanılan beton yol yüzeyinde daha düşük gürültü seviyeleri ölçülmüştür.
- Test kesitlerinin yapımından 3 yıl sonra yapılan ölçümlerde, bütün test kesitlerinde gürültü seviyeleri kötüleşmiştir. Kış sezonunda, beton yol yüzeylerinin asfalt betonu kaplama yüzeylerine göre 1 dB(A) daha fazla gürültü oluşturduğu görülmüştür [30].

6.6. Geçirimli Beton Yol Yüzeyleri

Gözenekli beton olarak da bilinen geçirimli beton, karışımda büyük boşluklar oluşturularak elde edilmiş bir malzemedir. Elde edilen malzemenin geçirimliliği, su ve havanın malzeme içerisinden kolaylıkla akışına izin vermektedir (Şekil 6.16). Karayolu uygulamalarında geçirimli beton üst tabaka olarak kullanılmaktadır ve kaplamaya düşük gürültü ve iyi bir drenaj kapasitesi kazandırmaktadır. Geçirimli beton geleneksel beton kaplama üzerine henüz sertleşmemişken uygulanmaktadır. İki tabakanın meydana getirdiği bu sistemde gürültü azaltımı, geçirimli malzemenin akustik emme özelliğinin bir sonucudur. Geçirimli betonun altında bulunan beton kaplama tabakasının varlığı da kaplamanın dayanımını ve dayanıklılığını iyileştirmektedir. Geçirimli betondaki boşluklar kesik gradasyonlu agregası kullanılarak elde edilmektedir ve karışımdaki ince agreganın, toplam agregaya oranı % 5-10 arasında olmaktadır. Geçirimli beton kaplamalarda gözeneklilik oranı genellikle % 15 ile % 20 arasında değişmektedir. Gürültünün azaltımı ile agregası boyutu arasında bir ilişki bulunmaktadır. Yapılan bir çalışmada, daha küçük agregası kullanılan kaplamanın gürültü azaltımını iyileştirdiği görülmüştür [30].

Geçirimli beton kaplamaların dayanıklılığı, iki beton kaplama tabakasının ara yüzeyi ve geçirimli betondaki gözeneklerle alakalı olmaktadır. Geçirimli beton kaplamalarda, kaplamanın üst tabakasında başlayan donma olayı, tabakanın daha alt bölgelerinde de görülmeye başlar. İki tabakanın gradasyon özelliklerinden dolayı ara yüzeyde gerilme yığılmaları oluşabilmektedir. Bu durum da iki tabaka arasındaki adezyonun kaybolmasına sebep olmaktadır. Belçika'da ilk geçirimli beton kaplama yapıldığında, kaplamanın dondurucu havalarda yeterli dayanıklılığı sağlayamayacağı düşünülmüştür. Daha sonraki uygulamalarda daha yüksek çimento içeriğiyle birlikte

kullanılan polimer katkıların, kaplamanın servis ömründe önemli bir gelişme sağladığı görülmüştür. Geçirimli beton kaplamalarda görülen bir diğer problem de kaplamadaki gözeneklerin zamanla tıkanmasıdır. Kaplamadaki gözenekler, yol çevresinden gelen toz, kir ile kaplamanın kendisinden aşınma sonucu ve taşıt tekerleğinden gelen malzemeler ile zamanla tıkanmaktadır. Kaplamanın akustik performansı ve drenajı için devamlı bakım yapılması ve temizlenmesi gerekmektedir. Temizleme çalışmaları genellikle tazyikli su püskürtülerek, kirlerin vakumlanarak çekilmesi gibi yöntemlerle yapılmaktadır. Daha küçük agregalardan oluşan üst tabakanın daha büyük agregalardan oluşan alt tabaka üzerine yerleştirilmesiyle oluşturulmuş çift tabakalı geçirimli beton kaplamanın problem için etkili bir çözüm olduğu ispatlanmıştır. Oluşturulan sistem, tıkanmaya sebep olan malzemelerin alt tabakaya sızmasını engellemektedir (Şekil 6.16).



Şekil 6.16 : Su akışını sağlayan geçirimli beton (solda) ve tıkanma problemi azaltan çift tabakalı geçirimli beton kaplama (sağda) [30].

Japonya’da yapılan bir çalışmada 40 ile 75 km/sa hızları arasında, otomobiller üzerinde yapılan ölçümlerde geçirimli beton kaplamaların, geleneksel asfalt betonu kaplamalara göre kuru koşullarda 6-8 dB(A), ıslak koşullarda da 3-4 dB(A)’lık gürültü azaltımı sağladığı görülmüştür. Ağır taşıtlarda 40 ile 60 km/sa arasında yapılan ölçümlerde de kuru koşullarda 4-8 dB(A), ıslak koşullarda da 2-3 dB(A) kadar daha az gürültü seviyesi ölçülmüştür. Belçika’da yapılan bir çalışmada da 70 km/sa hızda yapılan ölçümlerde geçirimli beton kaplamalarda, yine geleneksel asfalt betonu kaplamalara göre otomobiller için 6 dB(A), çift dingilli ağır taşıtlar için 5 dB(A) ve daha fazla dingilli ağır taşıtlar için de 3,5 dB(A) kadar daha az gürültü

sonuçları elde edilmiştir. Geçirimli asfalt betonu kaplamalarda elde edilen sonuçlar ise yukarıdaki sıraya göre, 4 dB(A), 6 dB(A) ve 2,5 dB(A) kadar olmuştur. Her iki geçirimli kaplamanın da kalınlığı 4 cm iken, gözeneklilik oranı geçirimli beton kaplamada % 17,3 ve geçirimli asfalt betonu kaplamada da % 15'tir. Geçirimli beton kaplama ile geçirimli asfalt betonu kaplamanın gürültü açısından hemen hemen aynı potansiyele sahip olduğu görülmüştür. Almanya'da da çuval bezi ile boyuna doğrultuda pürüzlendirilmiş beton yol ile iki yıllık bir geçirimli beton kaplamada yapılan gürültü ölçümlerinde, geçirimli beton kaplamanın otomobiller için 120 km/sa hızda 4,3 dB(A) ve ağır taşıtlar için de 80 km/sa hızda 7.0 dB(A)'lık bir gürültü azaltımı sağladığı görülmüştür [36].

Geçirimli beton kaplamaların getirdiği ek maliyetlerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Belçika'da 22 cm'lik geleneksel beton kaplama ile 18 cm'lik geleneksel beton kaplama üzerine yapılan 4 cm'lik geçirimli beton kaplama üzerine yapılan bir maliyet çalışmasında, geçirimli beton kaplamanın yaklaşık olarak % 40'lık bir ek maliyet gerektirdiği görülmüştür. Almanya'da yapılan bir çalışmada da 18 cm'lik geleneksel beton kaplama üzerine yapılacak 8 cm'lik geçirimli beton kaplamanın, 26 cm'lik geleneksel beton kaplamaya göre yaklaşık % 20-35 arasında daha maliyetli olduğu görülmüştür [36].

6.7. Farklı Beton Yol Yüzeylerinin Değerlendirilmesi

Daha önce de değinildiği gibi, beton yollarda betonun yola serilmesinden sonra, uygulanan pürüzlendirme teknikleri veya yapım yöntemleriyle farklı beton yol yüzeyleri elde edilmektedir. Elde edilen yüzeylerin yüzey özellikleri birbirinden farklı olduğu için, yüzeylerin yoldan beklenen performans özellikleri açısından da farklılık oluşturması kaçınılmaz olmaktadır. Bu bölümde buraya kadar anlatılan yöntemlerle ilgili genel bir değerlendirme yapılacaktır.

Sürükleme yöntemlerine bakıldığında, suni çim halı kullanılarak boyuna doğrultuda pürüzlendirilmiş yol yüzeyleri, çuval bezi ile pürüzlendirilmiş yüzeylere göre daha pürüzlü olmaktadır. Yöntemde kullanılan suni çim halının ağırlığı daha fazla olduğundan, elde edilen yüzeyin megadoku aralığındaki genlikleri en alt seviyeye indirgenebilmektedir. Sert süpürge kullanılarak pürüzlendirilmiş yol yüzeyleri de çuval bezi ile pürüzlendirilmiş yol yüzeylerine göre daha pürüzlü olmaktadır. Yüzeyde ince kanal açma yönteminde ise, yöntemin çuval bezi ile pürüzlendirme

teknîği ile birlikte kullanılması, lastikler ile yol arasındaki havalandırmayı artırmakta ve yüzeyin makrodokusunu da iyileştirmektedir. Sertleşmiş beton yüzeyine uygulanan aşındırma yöntemi ise, özellikle megadokuda istenmeyen dalgaları ortadan kaldırarak, gürültü seviyesinde bir azalma sağlamaktadır. Yöntemin yüzey kayma direncini iyileştirmesi de betonda kullanılan aşınmaya dayanıklı agrega miktarı ile ilgili olmaktadır. Soyulmuş agregalı beton yol yüzeylerinde genel olarak dokunun daha derin olması aerodinamik gürültü seviyesinin azalmasını sağlamaktadır. Fakat tekerleklerden kaynaklanan mekanik titreşimler de artabilmektedir. Geçirimli beton yol yüzeyleri, emme kapasitelerinden dolayı geçirimsiz yüzeylere göre çok daha sessiz olmaktadır. Fakat geçirimli beton kaplamalarda yüksek gözeneklilik değerinden dolayı hizmet ömrünün yetersiz olması söz konusudur. Çizelge 6.2’de farklı yüzeylerde, yüzey dokusu ve yol performansı değerleri açısından yapılan bir çalışmanın sonuçları gösterilmiştir [44].

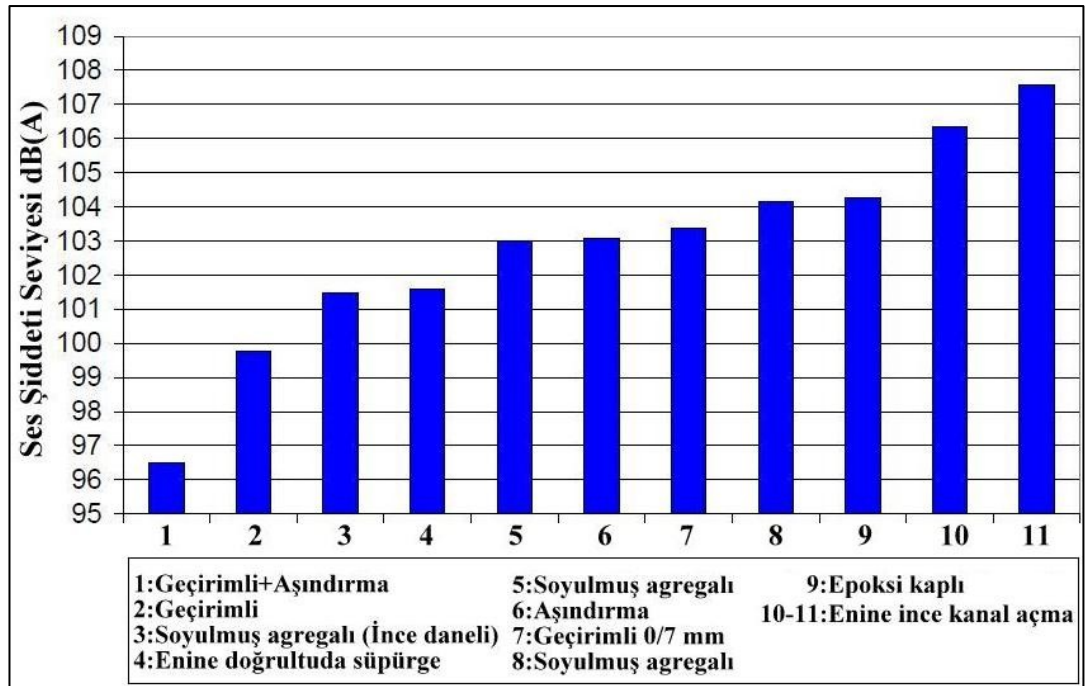
Çizelge 6.2 : Farklı beton yol yüzeylerinin yüzey dokusu ve yol performans ölçütleri açısından derecelendirilmesi [44].

Yüzey tipi	Makrodoku	Mikrodoku	Kayma direnci	Gürültü
Çuval bezi ile boyuna doğrultuda pürüzlendirme	3	2	3	1-
Çuval bezi + yüzeyde ince kanal açma	2	2	2	1-
Suni çim halı ile boyuna doğrultuda pürüzlendirme	1	2	1-	1-
Süpürge ile boyuna doğrultuda pürüzlendirme	1	2	1-	2
Süpürge ile enine doğrultuda pürüzlendirme	1	1	1+	3-
Aşındırma yöntemi ile pürüzlendirme	1	2	2-	1-
Soyulmuş agregalı beton yol	1	3	1	1
Geçirimli beton yol	1+	3	2	1+
1: Çok iyi 2: İyi 3: İyi değil				

Çizelge 6.2’den de görülebileceği gibi, pürüzlendirme yöntemleri içerisinde süpürge ile enine pürüzlendirme yöntemi ile en iyi kayma direnci sağlanırken yöntem gürültü açısından tercih edilmemektedir. Çuval bezi ile boyuna doğrultuda pürüzlendirmede tam tersi bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Suni çim halı ile boyuna doğrultuda pürüzlendirme gürültü seviyesi bakımından çuval bezi ile pürüzlendirme kadar iyi ve

kayma direnci bakımından süpürge ile boyuna doğrultuda pürüzlendirme kadar iyi sonuç vermektedir. Aşındırma yöntemi ile pürüzlendirilmiş yüzeyler de çuval bezi veya suni çim halı ile pürüzlendirmiş yüzeyler kadar sessiz olmaktadır. Kayma direnci ise, betonda kullanılan agreganın aşınma dayanımına bağlı olmaktadır. Farklı yapım tekniği ile oluşturulmuş beton yol yüzeylerinde ise, soyulmuş agregalı beton yol yüzeyleri hem gürültü hem de kayma direnci açısından en tercih edilen yüzey olmaktadır. Geçirimli kaplamalar da ses emme kapasitesi ve son derece düzgün yüzeyleri sayesinde, en sessiz yol yüzeylerinden biri olmaktadır ve aynı zamanda yeterli derecede kayma direnci sağlayabilmektedirler [44].

Avrupa ülkelerinde farklı beton yol yüzeylerinde 2004 yılında yapılan bir çalışmada, araca monteli ses şiddeti ölçme yöntemi ile bu yüzeylerin gürültü açısından performansları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ABD’de yapılan çalışmalarla yaklaşık olarak aynı olmuştur. Gürültünün düşük olduğu yüzeyler açısından bakıldığında, ABD’deki sonuçlardan farklı olarak, Almanya’da geçirimli kaplamanın aşındırma yöntemi ile pürüzlendirilmesiyle elde edilmiş beton yol yüzeyi daha sessiz bir yüzey oluşturmuştur (Şekil 6.17). Yüzey dokusundaki değişikliklere ve kaplamanın gözenekliliğine bağlı olarak, daha sessiz beton yol yüzeylerinin elde edilmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 6.17 : Avrupa’da farklı beton yol yüzeylerinde araca monteli ses şiddeti ölçme yöntemi ile 96 km/sa hızda elde edilmiş gürültü sonuçları [45].

7. SONUÇ

Karayolu trafik gürültüsünün ana kaynağı olan, tekerlek lastiği ile kaplama arasında meydana gelen gürültü, yol yüzey özelliklerine doğrudan bağlı olmakta ve bunun bir sonucu olarak da farklı yüzeylerde gürültü seviyesi farklı olmaktadır. Beton yollarda da yol yüzey özellikleri farklı pürüzlendirme yöntemlerine ve farklı yapım tekniklerine bağlı olarak değişmektedir. Gerek sertleşmiş beton yol yüzeylerinde, gerekse taze beton yol yüzeylerinde uygulanan pürüzlendirme yöntemleri ve farklı yapım teknikleri ile oluşturulan beton yol yüzey tiplerinin gürültü düzeyi üzerindeki etkisinin incelendiği bu çalışmada, aşağıda anlatılan sonuçlar elde edilmiştir.

Taze beton yüzeylerine uygulanan yöntemlerden sürüklenme ve yüzeyde ince kanallar açma yöntemleri karşılaştırıldığında, sürüklenme yöntemleri ile elde edilen yol yüzeylerinde, gürültü seviyeleri daha düşük olmaktadır. Özellikle çuval bezi ve suni çim halı ile pürüzlendirme yöntemleri, gürültü seviyesinin ince kanallar açma yöntemine göre daha düşük olmasını sağlamaktadır. İnce kanallar açma yönteminde, özellikle yöntemin enine doğrultuda uygulanması, gürültü açısından istenmeyen sonuçlara sebep olmaktadır. Bu yöntemin boyuna doğrultuda uygulanması, enine doğrultuda uygulanmasına göre daha düşük gürültü seviyeleri oluştursa da, sürüklenme yöntemlerine göre daha yüksek gürültü seviyesinin meydana gelmesine sebep olmaktadır. Sürüklenme yöntemlerinden çuval bezi ile pürüzlendirmede yeterli kayma direnci sağlanamazken, yöntemin boyuna doğrultuda ince kanallar açma yöntemi ile birlikte uygulanması, kayma direnci açısından da kabul edilebilir yüzeyler oluşturmaktadır. Her iki yöntem de çok özel bir ekipman gerektirmemesi ve kaplamanın yapılmasıyla birlikte uygulanması özelliğiyle, hem ekonomik açıdan hem de zaman açısından avantajlı olmaktadır. Bütün koşullar göz önüne alındığında, taze beton yüzeyine uygulanacak pürüzlendirme teknikleri açısından, çuval bezi ve suni çim halı ile pürüzlendirme yöntemleri daha tercih edilebilecek yöntemler olmaktadır.

Sertleşmiş beton yüzeylerine uygulanan ve aynı zamanda iyileştirme yöntemi olarak uygulanan aşındırma yöntemi ve yivlendirme yöntemleri karşılaştırıldığında,

aşındırma yöntemi ile pürüzlendirilmiş beton yol yüzeylerinde gürültü seviyeleri daha düşük olmaktadır. Ayrıca yöntemin uygulandığı yüzeylerde, sürükleme yöntemi ile oluşturulmuş yüzeylerle aynı seviyede gürültü oluşmaktadır. Yivlendirme yönteminde, tekniğin enine yönde uygulanması daha gürültülü yüzeyler oluşturmakta, bununla birlikte yöntemin boyuna doğrultuda uygulanması da gürültü açısından kabul edilebilir yüzeyler oluşturmamaktadır. Yöntemde kaplamanın daha çok drenaj özellikleri geliştirilerek, kızaklama etkisi ve kazalar azaltılmaktadır. Aşındırma ve yivlendirme yönteminde, elmaslı testere ağzı ve bunun yerleştirildiği özel ekipmanlar kullanıldığından, her iki yöntem de daha maliyetli olmaktadır. Ayrıca aşındırma yöntemi uygulanacak kaplama betonunda, aşınma dayanımı yüksek agreganın bulunması kayma direnci açısından faydalı olmaktadır; bu da kaliteli agrega kullanılmasını gerektirdiğinden ek bir maliyet getirmektedir.

Farklı yapım teknikleri ile oluşturulmuş beton yol yüzeylerinden olan soyulmuş agregalı ve geçirimli beton yol yüzeyleri karşılaştırıldığında, emme kapasitelerinden dolayı geçirimli yüzeyler daha düşük gürültü yaratmaktadır. Buraya kadar anlatılan bütün yöntemler içerisinde en düşük gürültü seviyesini oluşturan geçirimli beton yollar, asfalt betonu kaplamalara göre de daha sessiz olmaktadır. Soyulmuş agregalı beton yol yüzeylerinde gürültü seviyesi, yaklaşık olarak aşındırma yöntemi ile pürüzlendirilmiş yol yüzeylerindeki gürültü ile aynı seviyede olmaktadır. Yüzeyde daha ince daneli agrega kullanılması ile daha da sessiz yüzeyler oluşturulabilmektedir. Yöntem geçirimli beton kaplamalara göre daha iyi bir kayma direnci sağlamaktadır. Dayanıklılık açısından bakıldığında, geçirimli kaplamalar yüksek gözenekliliğe sahip olduklarından, özellikle de donma-çözülme açısından yetersiz kalmaktadırlar. Soyulmuş agregalı beton yollar ise, yaklaşık olarak geleneksel beton kaplamalarla aynı seviyede dayanıklılığa sahip olmaktadır. Ekonomik açıdan bakıldığında, geçirimli beton kaplamalar, gerek ilk yapım maliyeti gerekse zamanla gözeneklerin tıkanıklığını gidermek amacıyla yapılan bakım maliyetleriyle birlikte çok daha pahalı olmaktadır.

Farklı beton yol yüzeylerinde elde edilen gürültü sonuçlarına bakıldığında, şüphesiz en etkili çözüm, geçirimli beton kaplama kullanmak olmaktadır. Fakat yöntem, bütün yöntemlerden daha maliyetli olmakta ve kayma direnci açısından da soyulmuş agregalı beton yollara göre daha etkisiz olmaktadır. Maliyet, kayma direnci ve uygulanabilirlik kriterleri de göz önünde bulundurulduğunda, soyulmuş agregalı

beton yol yüzeyleri gürültü açısından en kabul edilebilir yüzeyler olmaktadır. Düşük trafik hacmine hizmet verecek yollarda, daha basit ve daha ekonomik olan sürüklenme yöntemlerinin uygulanması doğru olmaktadır. Belli bir süre trafiğe hizmet vermiş beton yol yüzeylerinde de hem gürültü hem de kayma direnci açısından aşındırma yöntemi ile pürüzlendirme tekniği uygulanarak, beton yol yüzeyi özellikleri iyileştirilebilmektedir. Özellikle drenaj sıkıntısının yaşandığı yol yüzeylerinde de, kaplamanın drenaj özelliklerini geliştirmek açısından yivlendirme yöntemi uygulanarak, drenaj problemi çözülebilmektedir. Yağışın aşırı fazla olduğu ve yağıştan kaynaklanan su sızratma probleminin görüş netliğini azaltarak, fazla kaza oluşumuna sebep olduğu bölgelerde de geçirimli beton kaplama kullanmak en doğru tercih olmaktadır.

Çalışma içerisinde beton yolların üstünlüklerine ve ülkemiz karayollarında bulunan beton yollara da değinilmiştir. Ülkemizde beton yol yok denecek seviyededir. Ülkemizde beton yol ham maddeleri ve bu maddelerin üretilebileceği tesislerin sayısı çok fazla olmasına rağmen, ülkemizde beton yolların günümüzde bu seviyede olması düşündürücüdür. İlk yapım maliyetleri açısından ülkeden ülkeye değişkenlik gösterse de ömür döngü maliyeti açısından beton yollar daha avantajlı olmaktadır. Sadece maliyet açısından değil, dayanıklılık, dayanım, fazla bakım gerektirmeme gibi teknik faydaların yanı sıra, çevresel açıdan da birçok faydası olan beton yolların, ülkemizde özellikle de ağır taşıt trafiğine ve yüksek hacimli trafiğe hizmet veren yollarda kullanılması, artık bir zorunluluk olarak görülmelidir. Ülkemizde ileride yapılacak beton yollarda soyulmuş agregalı beton yol yüzeylerinin tercih edilmesi, yukarıda anlatılan avantajları sayesinde daha uygun olacaktır. Özellikle de kentsel bölgelerde yapılacak beton yollarda gürültü seviyesinin yukarıda anlatılan yöntemlerle, asfalt betonu yollarla kıyaslanabilecek düzeyde, hatta daha düşük olabileceği düşünülürse, ülkemizde beton yol uzunluğunun artması, hem ülke ekonomisine hem de çevreye büyük katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Stratejik Plan (2007-2011)**, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü.
- [2] **Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği**, 2003, ‘Ulusal Beton Yollar Kongresi 18 Aralık 2002 Konuşma Metinleri’, Ankara.
- [3] **YEĞİNOBALI, A.**, 2010, ‘Niçin Beton Yol’, AR-GE Enstitüsü Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- [4] **PAPAGİANNAKİS, A. T., MASAD, E.A.**, 2008, ‘Pavement Design and Materials’, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA.
- [5] **HUANG, Y.H.**, 1993, ‘Pavement Analysis and Design’, Prentice Hall, New Jersey, USA.
- [6] **AĞAR, E., SÜTAŞ, İ., ÖZTAŞ, G.**, 1998, ‘Beton Yollar (Rijit Yol Üstyapıları)’, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [7] **LAY, M. G.**, 2009, ‘Handbook of Road Technology’, Spon Press, New York, USA.
- [8] **YEĞİNOBALI, A.**, 2010, ‘Türkiye’nin İlk Beton Karayolları’, AR-GE Enstitüsü Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- [9] **DELATTE, N. J.**, 2008, ‘Concrete Pavement Design, Construction and Performance’, Taylor & Francis, New York, USA.
- [10] <www.pavement.com/Concrete_pavement>, Alındığı tarih: 16.12.2010.
- [11] **TAYLOR, P.C., KOSMATKA, S.H., VOİGT, G.F., et al.**, 2007, ‘Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State of the Practice Manual’, National Concrete Pavement Technology Center, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.
- [12] **Subgrades and Subbases for Concrete Pavements**, 2007, American Concrete Pavement Association (ACPA).
- [13] <www.pavementinteractive.org>, Alındığı tarih: 20.12.2010.
- [14] **ERDOĞDU, K., TOKYAY, M., TÜRKER, P.**, 2005, ‘Traslar ve Traslı Çimentolar’, AR-GE Enstitüsü Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- [15] **TÜRKER, P., ERDOĞAN, B., KATNAŞ, F., YEĞİNOBALI, A.**, 2004, ‘Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri’, AR-GE Enstitüsü Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- [16] **TOKYAY, M., ERDOĞDU, K.**, 2005, ‘Cüruflar ve Cüruflu Çimentolar’, AR-GE Enstitüsü Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.

- [17] **YEĞİNOBALI, A.**, 2005, ‘Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı’, AR-GE Enstitüsü Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- [18] **ERDOĞAN, T.Y.**, 2007, ‘Beton’, Odtü Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A. Ş.’, Ankara.
- [19] **Karayolları Tarihi**, 2007, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü.
- [20] **European Road Statistics 2010**, 2010, EUROPEAN UNION ROAD FEDERATION, Brussels, Belgium.
- [21] **IRF World Road Statistics 2007**, INTERNATIONAL ROAD FEDERATION, Switzerland.
- [22] <<http://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/statistics/2008/hm12.cfm>>
Alındığı tarih :16.01.2011.
- [23] **Long-Life Concrete Pavements in Europe and Canada**, 2007, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- [24] **Concrete Thinking in Transportation Solutions ‘Building Better Highways in Canada’**, 2007, Cement Association of Canada.
- [25] **Green Highways, Environmentally and Economically Sustainable Concrete Pavements**, 2007, American Concrete Pavement Association, Skokie, Illinois, USA.
- [26] **The Benefits of Concrete Highways**, 2000, Cement Association of Canada.
- [27] **Rens, L.**, 2009, ‘Concrete Roads: A Smart and Sustainable Choice’, European Concrete Paving Association EUPAVE, Brussels.
- [28] **ÖZTAŞ, G., ERGÜN, M.**, 2004, ‘Beton Yolların Yüzey Özelliği ve Etkileri’, Beton 2004 Kongresi Bildirileri, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, Türkiye, Haziran 10-12.
- [29] **Maintenance Technical Advisory Guide-Rigid Pavements**, 2006, Caltrans Division of Maintenance, Sacramento, USA.
- [30] **Evaluation of U.S and European Concrete Pavement Noise Reduction Methods**, 2006, National Concrete Pavement Technology Center, Federal Highway Administration, USA.
- [31] **‘Road Pavement Macrotecture and Its Measurement’**, 1985, PIARC, Technical Committee Report on Surface Characteristics’.
- [32] **Concrete Pavement Surface Characteristic Program Site Evaluation Report**, 2008, Site 349-1, National Concrete Pavement Technology Center.
- [33] **Kurra, S.**, 2009, ‘Çevre Gürültüsü ve Yönetimi Cilt 1’, Bahçeşehir Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- [34] **Rasmussen, R.O., Bernhard, R.J., Sandberg, U., Mun, E.P.**, 2007, ‘The Little Book of Quieter Pavements’, FHWA-IF-08-004, U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- [35] **Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control, Guidance Manual for the Implementation of Low-Noise Road Surfaces**, 2006, FEHRL Report 2006/02, Brussels.

- [36] **Traffic Noise and Road Surfaces: State of the Art**, 2000, Belgian Road Research Center, Brussels.
- [37] **Karamihas, S.M., Cable, K.J.**, 2004, 'Developing Smooth, Quiet, Safe Portland Cement Concrete Pavements', Final Report, Center for Portland Cement Concrete Pavement Technology, Iowa State University, U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- [38] **Scofield, L.**, 2009, 'Transportation Noise and Concrete Pavements-Using Quiet Concrete Pavements as the Noise Solution', American Concrete Pavement Association (ACPA).
- [39] **Rasmussen, R.O., Garber, S.I., Fick, G.J., Ferragut, T.R., Wiegand, P.D.**, 2008, 'How to Reduce Tire-Pavement Noise: Interim Better Practices for Construction and Texturing Concrete Pavement Surfaces', U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration, National Concrete Pavement Technology Center, American Concrete Pavement Association.
- [40] **Scofield, L.**, 2003, 'SR202 PCCP Whisper Grinding Test Sections:Construction Report (Final Report)', Arizona Department of Transportation.
- [41] **Maintenance Technical Advisory Guide (MTAG), Volume II – Rigid Pavement Preservation, Second Edition**, 2007, California Department of Transportation (Caltrans), Division of Maintenance.
- [42] **Shreenath, R., Yu, H.T., Darter, M.I.**, 1999, 'The Longevity Performance of Diamond-Ground Pavements', Research and Development Bulletin RD118, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA.
- [43] <<http://www.igga.net/PutSafetyFirstFactSheet>>, Alındığı tarih: 15.03.2011.
- [44] **Sulten, P.**, 2004, 'Kayma Dirençli Gürültü Azaltıcı Beton Yollar', 9.Uluslararası Beton Yollar Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, Nisan 04-07.
- [45] **Donavan, P.**, 2005, 'Quieting of Portland Cement Concrete Highway Surfaces with Texture Modifications', NOISE-CON 2005, Minneapolis, Minnesota.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Müslüm BOZTEPE

Doğum Yeri ve Tarihi: Kulu/KONYA- 27.07.1987

Lisans Üniversite: Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği-2009

Lise: Pursaklar Anadolu Lisesi-2005