İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK LASTİK KATKILI ASFALT KAPLAMALARIN TRAFİK GÜRÜLTÜSÜNÜ SÖNÜMLEMEDEKİ ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Celal Tolga İMAMOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

MAYIS 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK LASTİK KATKILI ASFALT KAPLAMALARIN TRAFİK GÜRÜLTÜSÜNÜ SÖNÜMLEMEDEKİ ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Celal Tolga İMAMOĞLU
501081430

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK

MAYIS 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501081430 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Celal Tolga İMAMOĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"ATIK LASTİK KATKILI ASFALT KAPLAMALARIN TRAFİK GÜRÜLTÜSÜNÜ SÖNÜMLEMEDEKİ ETKİLERİ "** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yard. Doç. Dr. Şükriye İYİNAM
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **30 Nisan 2012**
Savunma Tarihi : **02 Mayıs 2012**

ÖNSÖZ

Öncelikle yaptığım bu çalışma süresince bana yardımcı olup, benim bu çalışmayı tamamlayacağıma inanıp, hertürlü bilgi, görüş ve yönlendirmesini esirgemeyen tez danışmanı hocam Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK'e sonsuz teşekkürler.

İkinci olarak çalışmam için gerekli bilgileri sağlamamda çok yardımları geçen İSFALT A.Ş.'nin AR-GE Şefi Aydın TOPÇU'ya ve BARYA İNŞAAT MAKİNA TARIM OTOMOTİV SAN. İÇ ve DIŞ. TİC. LTD. ŞTİ. Genel Müdür Yardımcısı Gülşah Sibel YANCI'ya teşekkür ederim.

Son olarak bu çalışma süresi boyunca bana her türlü yardımda bulunan arkadaşlarım Ahmet Niyazi TUNÇEL'e, İpek TİRYAKİ'ye, Güneş EVGİN'e, Kutan DEMİRCİ'ye ve benim moral kaynağım ve sevdiğim insan olan Zeynep Rüya ÇABAR'a teşekkür ederim.

Aralık 2011 Celal Tolga İMAMOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ v
İÇİNDEKİLER vii
KISALTMALAR ix
ÇİZELGE LİSTESİ xi
ŞEKİL LİSTESİ xiii
ÖZET xv
SUMMARY xvii
1. GİRİŞ 1
2. SES VE GÜRÜLTÜ 5
2.1 Temel Ses Kavramları 5
2.2 Ses Düzeyi 7
2.3 Gürültü Kaynakları 15
2.3.1 Karayolu trafiği kaynaklı gürültü 16
2.3.1.1 Motor ve egzoz gürültüsü 19
2.3.1.2 Aerodinamik gürültü 19
2.3.1.3 Yol yüzeyi gürültüsü 20
2.3.1.3.1 Hava pompalama (Air Pumping) ve hava rezonansları (Horn Effect) 20
2.3.1.3.2 Lastik titreşimleri ve moment altında kayma ve yapışma 20
2.4 Gürültü Ölçümü 22
2.4.1 İstatiksel olarak yolun yanından geçme metotu 22
2.4.2 Kontrollü olarak yolun yanından geçme metotu 22
2.4.3 En yakınlık metotu 23
2.4.4 Empedans tüpü 23
3. KULLANILMIŞ ARAÇ LASTİKLERİ ve YÖNETİMİ 25
3.1 Lastiğin Birleşimi ve Genel Özellikleri 25
3.2 Potansiyel Çevresel Riskler 27
3.3 Farklı Kategorilerde Kullanılmış Lastiklerin Tanımlanması 28
3.4 Kısmen Yıpranmış Lastiklerin Yönetimi 29
3.5 Hurda Lastiklerin Yönetimi 31
Enerji Geri Kazanımı: 33
4. ATIK LASTİK KATKILI ASFALT 39
4.1 Atık Lastik Katkılı Asfaltla ilgili Temel Bilgiler 39
4.1.1 Asfaltın tanımı 39
4.1.2 Atık lastik katkılı asfaltın tanımı 40
4.1.3 Atık lastik katkılı asfaltın tarihi 40
4.1.4 Atık lastik katkılı asfaltın üretimi 41
4.1.5 Atık lastik katkılı asfaltın kullanımı 42
4.2 Atık Lastiklerin Bitümlü Sıcak Karışım Performansına Etkisi 43

4.2.1.1 Deneylerden elde edilen sonuçlar 44
4.3 Atık Lastik Katkılı Asfaltın Faydaları 45
4.3.1 Yansıma çatlakları 45
4.3.2 Tekerlek izi oluşumu (Oluklanma) 46
4.3.3 Bakım maliyeti 48
4.3.4 Yorulma direnimi 49
4.4 Atık Lastik Katkılı Asfaltın Karayolu Gürültüsünün Azaltılmasındaki Etkileri 49
4.4.1 Kaplamada gürültü emilimi 50
4.4.2 Kaplama tasarımında gürültüye etki eden faktörler 51
4.4.2.1 Maksimum agrega boyutu 51
4.4.2.2 Agrega tipi 52
4.4.2.3 Lastik granülü, modifiyeli ve modifiyesiz bağlayıcılar 52
4.4.2.4 Yaşlanma 53
4.4.2.5 Doku 53
4.4.2.6 Yüzey tipi 54
4.4.2.7 Rijitlik 54
4.4.2.8 Kalınlık 55
4.4.2.9 Hava boşluk yüzdesi 55
4.4.2.10 Sıcaklık 55
4.5 Atık Lastik Katkılı Asfaltın Gürültüye Etkilerini Araştıran Deney ve Sonuçları 56
Laboratuvar Deneyi 56
4.5.1.1 Deneyin adımları 56
4.5.1.2 Metotlar 59
4.5.1.3 Gürültü deneyi kurulumu 60
4.5.1.4 Asfalt film kalınlığının ve hava boşluk boyutunun etkisi 62
4.5.1.5 Yaşlanma ve elastikiyet etkileri 66
4.5.1.6 Kaplama kalınlığının etkileri 66
4.5.1.7 İstatistiksel analiz prosedürü 66
4.5.1.8 Deneyin sonuçları 68
4.5.1.8.1 Ses sönümleme ölçümleri 68
5. TÜRKİYEDEKİ DURUMA GENEL BAKIŞ 91
5.1 Giriş 91
5.2 Türkiye'deki Kullanılmış Lastiklerin Mevcut Durumu. 91
5.3 Mevzuatlar, Yönetmelikler ve Stratejiler 93
5.3.1. Mevzuat ve yönetmelikler 93
5.3.2. Stratejiler 94
5.4 Sektörün Uyum Sürecinden Beklentileri 95
5.5 Türkiye'de Yapılmış Çalışmalar ve Uygulamalara Örnekler 95
5.5.1. Geri dönüştürülmüş lastik Aaıklarının bitümlü sıcak karışımların performansına etkisinin Tübitak ve İsfalt tarafından incelenmesi 95
5.5.2. Geri dönüştürülmüş lastik atıklarının bitümlü sıcak karışımların performansına etkisinin TCK tarafından incelenmesi 96
5.6 Atık Lastik Katkılı Asfalt Kaplamasının Ses Perdelerinin Maliyetinin Azaltılmasına Katkısı 97
6. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME 107
KAYNAKLAR 113
EKLER 116
EK 1 116

KISALTMALAR

AASHTO : Amerikan Devlet Otoyolları ve Resmi Taşımacılık Birliği
ABD : Amerika Birleşik Devletleri
AGST : Açık Granülometrili Sürtünme Tabakası
ANOVA : Varyans Analizi
ASMUD : Asfalt Müteahhitleri Derneği
ASTM : Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu
BBR : Bükme Işın Reometrisi
BSK : Bitümlü Sıcak Karışım
ÇED : Çevresel Etki Değerlendirmesi
DSR : Dinamik Kayma Reometrisi
EPA : Environmental Protection Agency
FDOT : Florida Ulaştırma Bölümü
IRI : International Roughness Index
ISO : International Organization for Standardization
LASDER : Lastik Sanayicileri Derneği
LSD : En Küçük Anlamlı Fark Analizi
LÜTEK : Lastik Üreticileri Teknik Komitesi
MPCA : Minnesota Kirliliği Kontrol Ajansı
OECD : Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
ÖTL : Ömrünü Tamamlamış Lastik
PAV : Basınç Yaşlanma Gemi
RMA : Amerikan Lastik Üreticileri
RTFO : Döner İnce Film Testi
RV : Dönel Viskometre
SA : Agrega Yüzey Alanı
SAMI : Geri Sönümleyeci Ara Tabaka
SAS : İstatiksel Analiz Sistemi
SBS : Stiren Butadien Stiren
TCK : Karayolları Genel Müdürlüğü
TUİK : Türkiye İstatistik Kurumu
TWI : Taban Aşınma İndeksi
YOGATT : Yıllık Ortalama Günlük Ağır Taşıt Trafiği

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Araç Lastikleri Birleşimi [9] 25
Çizelge 3.2 : Lastik içindeki Basel Konvansiyonunda Belirtilen Tehlikeli Maddeler [9] 26
Çizelge 3.3 : Yakıtların Enerji İçeriklerinin Kıyaslanması [9] 26
Çizelge 4.1 : Yüzey Alanı Faktörleri [8] **63**
Çizelge 4.2 : Her Bir Diskin Hava Boşluk Boyutu ve Sayısı [8] 65
Çizelge 4.3 : Raslantısal Tasarım için ANOVA Tablosu [8] 67
Çizelge 4.4 : Açık Granülometrili Sürtünme Yüzey Karışımlarının Optimum Kalınlığı [8] 85
Çizelge 5.1 : Geleneksel Asfalt ile Granül Otomobil Lastiği Katkılı Asfaltın Tekerlek İzi Deney Sonuçlarının Karşılaştırılma **96**
Çizelge 5.2 : Kara Yolu Çevresi Gürültü Sınır Değerleri [Resmi Gazete, Sayı: [27601] **97**
Çizelge 5.3 : Betonarme Gürültü Bariyeri İnşa Maliyetleri Tablosu [3] **98**
Çizelge 5.4 : Zarar Maliyetleri Tablosu [3] **99**
Çizelge 5.5 : Toplam Maliyet Tablosu [3] **99**
Çizelge 5.6 : Çeşitli Ülkelerde ve ABD'de Yapılan Uygulamalardaki Ses Sönümleme Değerleri **101**
Çizelge 5.7 : 1km Uzunluğundaki Karayolu için Dökülecek Asfalt Betonu Tonajı **102**
Çizelge 5.8 : %6 Bitüm Katkılı Asfalt İçine %12 Kauçuk Katkı Maddesinin Toplam Maliyeti **103**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Ses Karakteristikleri [2] 5
Şekil 2.2: Ses Basıncının Değişim Aralığı [2] 7
Şekil 2.3: Dalga Formları ve Frekanslar [2] 8
Şekil 2.4: Filtreler [2] 8
Şekil 2.5: Bant Geçirgen Filtreler ve Bant Genişliği [2] 9
Şekil 2.6: 1/1 ve 1/3 Oktav Filtreleri [2] 10
Şekil 2.7: İşitme Sınırları [2] 11
Şekil 2.8: Arı Sesler için Eşdeğer Gürültü Eğrileri [2] 11
Şekil 2.9: 40 dB Eşdeğer Gürültü Eğrisi ve A-Ağırlıklı Filtre [2] 12
Şekil 2.10: Frekans Ağırlık Eğrileri [2] 13
Şekil 2.11: Ses Düzeyi Parametreleri [2] 14
Şekil 2.12: Emilen Hava 21
Şekil 2.13: Dışarı Pompalanan Hava 21
Şekil 2.14: Adezyon Yapışma - Kopma 22
Şekil 3.1: Kullanılmış Lastiğin Geçirdiği Evreler [9] 30
Şekil 4.1: Atık Lastik Katkılı Asfalt Üretimi [14] 40
Şekil 4.2: Granüle Lastik Asfaltın Üretimindeki Yaş ve Kuru İşlem [15] 42
Şekil 4.3: Yansıma Çatlakları 46
Şekil 4.4: Arizona Ulaştırma Departmanı Tarafından 10 yıl Boyunca Kayıt Edilen Çatlak Sayısı [17] 46
Şekil 4.5: Tekerlek İzi Oluşumu (Oluklanma) [18] 47
Şekil 4.6: Arizona Ulaştırma Departmanı Tarafında 10 yıl süre ile SAM Kullanılmış ve Kullanılmamış Tabakalardaki Tekerlek İzi Oluşumunun Derinliklerinin Kayıtları [17] 48
Şekil 4.7: Arizona Ulaştırma Departmanı Tarafında 10 yıl süre ile SAM Kullanılmış ve Kullanılmamış Tabakalardaki Bakım Maliyeti Kayıtları [17] 48
Şekil 4.8: Yoğun Granülometrili (a) ve Poroz Asfalt Kaplamadan Yansıma [21] 50
Şekil 4.9: Deney için Uygulanacak Sıcak Asfalt Karışım Tasarımı[8] 59
Şekil 4.10: Laboratuvarda Yürütülen Testlerin Deneysel Tasarımı[8] 60
Şekil 4.11: Ses Sönümlemesi için Empedans Tüpünün Deneysel Kurulumu [8] 61
Şekil 4.12: Empedans Tüpü [8] 61
Şekil 4.13: Kalıplar [8] 61
Şekil 4.14: Empedans Tüpü içindeki Örnek [8] 62
Şekil 4.15: Film Malzemesinin Etkilerini Değerlendirmede Kullanılan Granülü Kauçuk Modifiyeli Bağlayacılar [8] 64
Şekil 4.16: Asfalt film Uygulamasında Kullanılan Kalıplar 64
Şekil 4.17: Her Bir Disk için Delik Dağılımı [8] 65
Şekil 4.18: Ses Sönümleme ile ilgili Seçilmiş Noktalar [8] 69

Şekil 4.19: Granüle Kauçuğun Öğütülme Yönteminin AGST Karışımlarının ses sönümlemesine etkileri [8] 70
Şekil 4.20: Granüle Edilmiş Kauçuğun Öğütülme Yönteminin Yoğun Grasdasyonlu Karışımların Ses Sönümlemesindeki Etkileri [8] 70
Şekil 4.21: Granüle Edilmiş Kauçuğun Öğütülme Yönteminin AGST Karışımlarının Geçirgenliğindeki Etkileri [8] 71
Şekil 4.22: Granüle Edilmiş Kauçuğun Öğütülme Yönteminin AGST Karışımlarının Porozitesindeki Etkileri [8] 72
Şekil 4.23: Bağlayıcı Tipinin AGST Karışımlarının Ses Sönümlemesine Etkileri [8]..... 73
Şekil 4.24: Bağlayıcı Tipinin AGST Karışımlarının Geçirgenliğine Etkileri [8] 74
Şekil 4.25: Bağlayıcı Tipinin AGST Karışımlarının Porozitesine Etkileri [8] 74
Şekil 4.26: Bağlayıcı tipinin yoğun granülometrili karışımlarının ses sönümlemesine etkileri [8] 75
Şekil 4.27: Ses Sönümlemede Hava Boşluk Boyutunun Etkileri [8] 76
Şekil 4.28: Ses sönümlemede agrega tiplerinin etkileri [8] 77
Şekil 4.29: Yaşlandırılmış ve Yaşlandırılmamış AGST Karışımlarında Elastikiyet Modülü.... 78
Şekil 4.30: Yaşlandırılmış ve Yaşlandırılmamış Yoğun Granülometri Karışımlarında Elastikiyet Modülü [8] 79
Şekil 4.31: AGST ses sönümleme katsayısının frekanslardaki değişimi [8] 80
Şekil 4.32: Granüle Edilmiş Kauçuğun Granülometri ve Konsentrasyonunun AGST Karışımlarının Ses Sönümlemesine Etkileri [8] 80
Şekil 4.33: Granüle Edilmiş Kauçuğun Granülometri ve Konsentrasyonunun AGST Karışımlarının Geçirgenliğine Etkileri [8] 81
Şekil 4.34: Hava Boşluğu (SBS modifiyeli, bağlayacı I tipli AGST için) [8] 82
Şekil 4.35: Hava Akış Kanalları Tıkalı-Açık[8] 82
Şekil 4.36: Frekans Değişiminlerinde Yoğun Granülometrili Karışımların Ses Sönümlemesi [8] 83
Şekil 4.37: Granüle Edilmiş Kauçuğungranülometrisininve Konsantrasyonunun Yoğun Granülometrili Karışımların Ses Sönümlemesine Etkisi [8] 83
Şekil 4.38: Granüle edilmiş Kauçuğungranülometrisinin ve Konsantrasyonunun %20 CRM İçeren Yoğun Granülometrili Karışımların Ses Sönümlemesine Etkisi [8]..... ..84
Şekil 4.39: Bir Karışımın Ses Sönümleme Katsayısına Kalınlığın Etkisi..... 86
Şekil 4.40: Örneklerin Kalınlığının Yoğun Granülometrilarının Akustik Özelliğine Etkisi[8].... 87
Şekil 5.1: Atık Lastik Kullanım Döngüsü [35] 92
Şekil 5.2: Örnek Çalışma Maliyet Eğrilerinin Klasik Optimizasyon Sonuç Grafiği . 99
Şekil 5.3: [3]' den Uyarlanmış, Atık lastik katkılı asfalt Kullanmadan Ses Perdesinin Optimum Maliyet Analizi 104
Şekil 5.4: [3]' den Uyarlanmış, Atık lastik katkılı asfalt Kullanımında Ses Perdesinin Optimum Maliyet Analizi (grafiğin daha anlaşılır olması açısından 15.552 Euro' luk maliyet grafiğe eklenmemiştir 104

ATIK LASTİK KATKILI ASFALT KAPLAMALARIN TRAFİK GÜRÜLTÜ SÖNÜMLEMESİNDEKİ ETKİLERİ

ÖZET

Bu çalışmada öncelikle tezin amacına yönelik temel bilgileri sağlamak amacıyla temel ses kavramları, sesin fiziksel özellikleri, ses düzey tanımları hakkında bilgiler verilmiştir. Bu temel bilgiler sonrası karayolu kaynaklı gürültü ve bu gürültüyü oluşturan etmenler incelenmiştir. Ayrıca yine amaca yönelik olarak atık lastiklerin birleşimi, genel özellikleri, potansiyel çevresel riskleri ve yönetimi hakkında kapsamlı bilgiler sunulmuştur.

Atık lastik katkılı asfaltın tanımı, kullanımı, performansı ve faydaları hakkındaki bilgiler verildikten sonra empedans tüpü ASTM E1050 ile gerçekleştirilen laboratuvar deneyi ile atık lastik katkılı asfaltın birleşenlerindeki değişimin ses sönümlemesindeki etkileri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Böylece atık lastik katkılı asfaltın ses sönümlemedeki davranışı ve bu davranışı etkileyen faktörler analiz edilerek tez çalışmasının temeli oluşturulmuştur.

Çalışmanın son bölümünde ise öncelikle Türkiye'deki atık lastik durumu mevcut yasa ve yönetmeliklere göre incelendikten sonra İSFALT A.Ş ve TÜBİTAK MAM 'ın ortak çalışması olan atık lastik katkılı asfaltın bitümlü sıcak karışımlardaki performansı ve Karayolları Genel Müdürlüğünün 1.5 km'lik pilot kauçuk asfalt uygulaması gibi ülkemizde gerçekleşen ilk projelere değinilmiştir. Son olarak atık lastik katkılı asfalt kaplamanın diğer bir trafik gürültüsü önlemi olan ses perdeleriyle birlikte kullanılmaları durumunda ses perdeleri inşa maliyetlerinde azalmaya ve efektif ses sönümlemesi sağlamasına yardımcı olacağı sonucuna varılmıştır.

THE EFFECTS OF SCRAP TIRES IN ASPHALT PAVEMENT ON HIGHWAY NOISE DAMPİNG

SUMMARY

Noise is defined as unwanted or excessive sound. At a minimum, it can cause discomfort, and it has the potantiel causethe potential to cause severe physical and psychological damages. Historically, traffic noise has been indentified as a continuous environmental problem that affects the quality of human life.

The increase in the world population not only caused the number of vehicles to increase, but has also lead to bigger sized vehicles; to accommodate for the transportation of increased human supplies. Even though newer vehicles are designed to produce lower noise levels, the increase in vehicle density has kept traffic noise as a major setback in the improvement of the quality of life. In the last few decades, the population growth in the United States has increased from 180 million residents in 1960 to 293 million in 2005 (FHWA 2005). This indicates a need for more homes, more roads, and in most cases, more and heavier vehicles.

For the past four decades, the crumb rubber modified (CRM) binder has gaining popularity in use. It is based on mixing crumb rubber particles obtained from recycled shredded tires with conventional (unmodified) asphalt binders. CRM binders have beenused in producing many pavements around the world, in which results indicates that they had excel in their performance over conventional pavements. However, not all benefits of CRM mixtures have been evaluated.

There have been many claims that adding rubber to asphalt reduces the noise generated by traffic however, this has not been properly evaluated.

In order to provide a basis for this thesis, this study will first present an informative background on basic sound concepts, sound level definitions, and physical properties of the sound. This introduction will be followed by an examination of the sources of highway traffic noise. The source of highway traffic noise may be classified into three categories: noise generated from the interaction between tires and pavements, noise generated from the engine and exhaust, and noise generated by the aerodynamic nature of the vehicle. Noise generated by the tire/pavement interaction is the dominant contributor to highway traffic noise. Also, many factors enhance the noise at the tire/pavement interaction, thus increasing the efficiency of the noise energy. After this part, comprehensive information on the basic properties of waste tires and their composition has been, followed by a discussion of waste tire management and environmental risks it carries.

The definition of the scrap tires in asphalt, and a discussion of its use, performance, and advantages has been followed by an analysis of a lab experiment and the effect of the change in the composition of crumb rubber asphalt in sound absorption. The laboratory setting was used to minimize the effects of the different variables affecting the noise development in the field. A method called the impedance tube or

standing wave method has been standardized by the American Society for Testing and Materials, ASTM E1050, "Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using A Tube, Two Microphones and A Digital Frequency Analysis System". In addition, the International Organization for Standardization, ISO 10534-2,"Acoustics- Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes- Part 2", has been developed to determine the acoustical properties of materials. The principle of this method is based on measuring the wave reflection of a pavement core after sending a sound wave toward the sample. The effects of the properties such as: aggregate gradation, aggregate size, aggregate type, tire type, vehicle type, pavement condition, temperature, traffic volume on noise were not measured. These factors were not considered because either the mechanism of their effects has already been proven by previous research, or these factors could not be studied by the proposed method. Thereby, the behavior of crumb rubber asphalt in sound absorption and the factors influencing this behavior has been examined, providing the basis of this thesis.

The OGFC mixtures are more efficient than dense mixtures in reducinghighway traffic noise. The reduction was attributed to the higher permeability of the OGFC mixes when compared to dense mixtures. However, findings suggested that for the same aggregate gradation, as binder content increased, permeability decreased, therefore sound absorption decreased. The crumb rubber grinding procedure and the sources of binder used in this study had no effects on the sound absorption of the mixtures. No statistical differences between the sound absorption of the dense mixtures were found. Asphalt film thickness and modification did not have a statistical effect on sound absorption. The sound absorption coefficients were very small, indicating that the effects of binding material are minimal. On the other hand, air void size had statistically significant effects on sound absorption. That is, as the air void size decreases, the inner surface area (for the same air void percent) increases, therefore, the sound absorption increases. Laboratory aging had no effect on sound absorption. Furthermore, volumetric measurements indicated that the air void percent had increased after aging. The findings indicated that the thickness of the samples had statistically significant effects on sound absorption. The effects of porous specimen thickness on the high frequency at which peak absorption occurred were found to be statistically significant. Dense mixtures produce significantly higher sound levels than porous mixtures. The effects of crumb rubber were not as significant as mixture type; however, the mixes that produced significantly lower sound levels contained high concentrations of crumb rubber. Asphalt film thickness, air void percentage, porosity, and resilient modulus did not yield any significant correlations with sound absorption. Having smaller air void sizes increases the sound absorption as more energy is lost due to the higher friction of the smaller air voids. However, permeability should be kept at its highest levels since decreasing the air void size also decreases permeability. Dense pavement thickness affects sound absorption. For low speed roads (50km/hr), there is an optimum thickness that will yield the highest sound absorption. For porous pavements (i.e., OGFC), the thickness that yields the highest sound absorption depends on the pavement permeability. For higher permeability pavements, a thicker pavement is recommended. However, if permeability is low, reduced pavement thickness might yield higher sound absorption coefficients. For porous pavements, increasing permeability will shift the location of the peak absorption to higher frequencies. In addition, for low speed roads,decreasing the pavement thickness will shift the location of the peak absorption to higher frequencies.

In the last part of this study, the situation of waste tire management in Turkey has been assessed according to the current law and regulations. Rubber and Rubber Modified Bitumen Specifications Dimensions of Asphalt Mixtures as of the date written thesis prepared by Karayolları Genel Müdürlüğü although the unit price bid for completed stages of the rulers are not used more. The co-project of ISFALT A.S. and TUBITAK MAM. on the performance of crumb rubber asphalt on bitumen hot mix and the pilot application of 1.5 km rubberized asphalt by the General Directorate of Highways are projects that has been referred to in this section. Finally, it has been concluded that the use of crumb rubber asphalt in conjunction with sound walls results in the reduction of construction costs and it helps increase sound absorption capacity. To make the application more robust economic analysis of the "Hedonic Price Technique" approach. This approach is equivalent to within 1 dB of noise (A) ² change of property is affected by the road caused by a change rate in proportion to 0.9% is assumed. This change, "Damage Cost". According to the data is the optimum solution to 2m high concrete noise barrier. 1km long, 2m high concrete noise barrier applied to the geometric parameters of the road hard mold, selecting the design of a 5-cm layer of abrasion, in Turkey in the coming days which will start production of rubber additives for asphalt bitumen Barya Construction Machinery Agricultural Automotive San. Internal and Dış.Tic. When we use the unit prices of the company 5dB'lik Co.Ltd noise for sound damping construction costs were spent on screens 70 000,-TL, rubber modified asphalt pavement is the additional cost of 15 552,-Euro turned out to be. Results of traffic noise from existing noise barriers damping crumb rubber reinforced asphalt coating application practices revealed that the optimum cost is relatively reduced.

Widely applied in the world and especially in the U.S. scrap tire reinforced asphalt overlay, pavement next to improve the performance of waste tires produced for moving vehicles on highways with the arrival of the state to prevent environmental pollution and other highways, such as traffic noise that occurs due to the reduced environmental impact. Which will occur in the transport cycle, such as environmental and noise pollution, measures to reduce environmental impacts, such as curtains in this application compared to existing noise in the world to bring great advantages in terms of costs often imply the use of this reason. Specifications and regulations necessary infrastructure in our country has been prepared for this application karayollarımızda crumb rubber blended asphalt applications is expected to commence in the progressive period.

1. GİRİŞ

Son yıllarda dünyadaki en büyük problemlerden biri katı atıkların, çevre ve insan sağlığını tehdit edecek bir şekilde hızla artmasıdır. Bu hızlı artışa aynı ivmelenme refleksinde olmasa da, dünyadaki birçok ülke çeşitli yasalar, yönetmelikler ve bunların uygulayacısı olacak kurum ve kuruluşların organizasyonu ile çözüm arama yoluna gitmektedir. Katı atıkların yakılması, gömülmesi ya da düzenli depo alanları oluşturulması en yaygın yöntemler arasındadır. Bununla birlikte atıkların yeniden kullanımı çevre ve insan sağlığını tehdit eden durumu ortadan kaldırdığı gibi enerji kazanımıyla dünya ekonomisine katkısı bakımından üstünde durulması gereken bir uygulama tipidir.

Birçok sektör katı atıkların ortaya çıkmasına neden olurken, bunlardan biri de otomotiv sektörüdür. Günümüz dünyasına bakarsak hızla artan nüfus beraberinde ulaştırma hizmetlerinden olan karayolları ağında, bunların üzerinde hareket eden hertürlü taşıt sayısında ve bu taşıtlar için üretilen lastik sayısında önemli bir artış getirmiştir. Yıllık olarak Avrupa Topluluğunda ve Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) 240 milyon adet, Japonya'da 100 milyon adet ve ülkemizde de Lastik Sanayicileri Derneği'nin (LASDER) verilerine göre ortalama 20 milyon adet atık lastik çıkmaktadır. Bu rakamları dünyadaki atık lastik stok alanları ile kıyasladığımızda tehdidin ne kadar ciddi boyutlarda olduğu ortaya çıkmaktadır. Dünya genelinde stok alanlarındaki bu yetersizlik önceleri atık lastikleri yakma yolu ile giderilmeye çalışılmış, daha sonra bu yöntemin mevcut çevre sağlığına daha olumsuz sonuçları olduğu gözlemlenerek alternatif yöntemlerin arayışı yoluna gidilmiştir.

Ülkemizde kullanılmış lastiklerin büyük bir bölümü yenilenerek tekrar kullanılmakta, atık durumunda olan lastikler ise rejenere kauçuk imalatında kullanılmaktadır. Rejenere kauçuk sanayisi atık lastik stoklarını eriterek ülkemiz için atık lastik sorunun ciddi boyutlarda olmasını engellemektedir. Fakat otomotiv

sektörü bakımından hızla büyüyen bir ülke olduğumuz gerçeği göz önünde tutularak ileride karşılaşılacak durumlar için şimdiden önlemler alınması gerekmektedir.

Katı atık artışının, dünya nüfusundaki artışa paralel olarak artan ulaştırma hizmetleriyle ilişilendirirken diğer bir çevresel tehdit olan karayollarındaki gürültünün de irdelenmesi gerekmektedir. Ulaştırma ağındaki artış nasıl taşıt sayısı ve buna bağlı olarak katı atık olarak nitelendirdiğimiz atık lastik sorunu doğruyorsa aynı şekilde gürültü sorununu da beraberinde getirmektedir. Gürültü insanlar için tam bir tehlike kaynağı olup var olan doğal sesin kirlenmiş halidir. Bununla birlikte gürültü kişisel tercihlere göre de değişen bir algı iken trafik gürültüsünde ise bu tercihsel tanımalama ortadan kalkarak herkes için rahatsızlık verici bir sıfata sahip olmaktadır. Geçmişe göre otoyolların uzunluğunun ve sayılarının artması, araç hızlarındaki teknoloji ile birlikte gelen artış, nüfus ile doğru orantılı olan trafik yoğunluğu, trafik gürültüsünün günden güne daha da çok artmasına neden olmuştur.

Ulaştırma Mühendisliği disiplinin, önemli ödevlerinden biri de karayolları kullanımına bağlı meydana gelebilecek her türlü çevresel etkiye karşı çözüm bulmaktır. Bu çevresel etkilerin en önemlilerinden biri de trafik kaynaklı gürültü kirliliğidir. Karayollarının plan ve inşa aşamalarındaki çeşitli uygulamalar ile trafik kaynaklı gürültü kirliliği minimize edilmeye çalışılmaktadır. Yolun geometrik planlamasına yardımcı olarak özellikle yol boyunca farklı malzeme kombinasyonları ve yüksekliklerde inşa edilen ses bariyerleri ile karayolu üst yapı tasarımındaki farklı malzeme seçimleri günümüzde kullanılan en yaygın yöntemlerdir. Karayolu üst yapı tasarımında seçilen farklı malzeme çeşitlerinden biri de dünyada ve özellikle ABD'nin birçok farklı eyaletinin ulaştırma bölümleri tarafından uygulanarak hem performası artıran hem de trafik kaynaklı gürültü kirliliği gibi çevresel etkileri azaltan atık lastiktir. Son yıllarda yapılan birçok saha uygulaması ve araştırma atık lastik katkılı asfalt kaplamaların hem performansını iyileştirici hem de çevresel etkileri azaltıcı özelliklerini ortaya koymuştur. Ulaştırma ağı üzerinde hareket eden taşıtlar için üretilen lastiklerin bu ağların üstyapı inşalarında kullanılması, hem atık lastik stoklarının oluşturacağı çevre kirliliğini hem de servis süresi boyunca meydana gelecek trafik kaynaklı gürültü kirliliğini azaltmaktadır. Asfalt kaplama tabakalarında atık lastik kullanımını, ulaştırmanın neden olduğu çevresel etkilerin döngü halinde ortadan kalkması olarak da özetleyebiliriz.

Bu çalışma dahilinde temel ses kavramları, gürültü, karayolu kaynaklı trafik gürültüsü, lastik, atık lastik yönetimi, atık lastiklerin çevresel etkileri gibi konuyu tamamlayacı temel bilgiler verilmiştir. Daha sonra atık lastik katkılı asfaltın tanımını, tarihini, uygulama yöntemlerini, kaplamaya sağladığı performansı ve gürültü sönümlemedeki etkilerini analiz eden laboratuvar deneylerinin yer aldığı geniş bir literatür çalışmasına yer verilmiştir. Çalışmanın son bölümünde atık lastik katkılı asfalt uygulamasının ülkemizdeki durumu; Lastik Sanayicileri Derneği'nden (LASDER) alınan mevcut atık lastik stoğu, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı gibi devlet organlarının çıkarttığı yürürlükteki mevzuat, yönetmelikler ve raporlar, Kauçuk Modifiye Bitümler ve Kauçuk Asfalt Karışımlarına Ait Teknik Şartname, Asfalt Müteahhitleri Derneği'nin (ASMUD) raporları, İSFALT A.Ş ve TÜBİTAK MAM'ın ortak çalışması olan atık lastik katkılı asfaltın bitümlü sıcak karışımlardaki performansını analiz eden laboratuvar deneyi ve Karayolları Genel Müdürlüğünün Karabük-Gerede arasında 1.5 km'lik TECROAD ürünü kullanılarak gerçekleştirdiği pilot asfalt uygulaması gibi pek çok farklı veri incelenerek ortaya koyulmuştur. Bir çok farklı yönden atık lastik katkılı asfaltın ülkemiz için durumu değerlendirdikten sonra trafik kaynaklı gürültü kirliliğine karşı en yaygın olarak kullanılan ses bariyerlerinin inşa maliyetleri ile atık lastik katkılı asfalt kaplamanın getireceği artı maliyet Hedonic Fiyat Tekniği yaklaşımıyla karşılaştırılarak maliyet analizi yapılıp çalışmaya eklenmiştir.

.

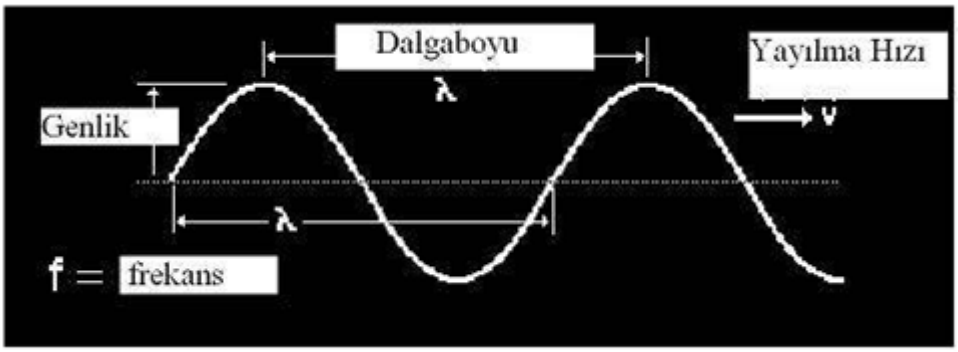
2. SES VE GÜRÜLTÜ

Ses, titreşen bir kaynaktan yayılan hava basıncı dalgalarının oluşturduğu ve insanda işitme duygusunu uyaran fiziksel bir olgu olarak tanımlanır. Ses, dalgalar halinde yayılan bir enerji türü olup, tamamen fiziksel bir olaydır. Fiziksel olarak ses, bir basınç altında hava gibi elastik bir ortamdaki parçacıkların yer değiştirmesidir. Gürültü ise basit bir ifadeyle istenmeyen ses olarak tanımlanabilir. Bir başka ifade ile gürültü, gelişigüzel bir yapısı olan ve bağımsız frekans bileşenleri olmayan bir spektrum olarak tanımlanabilir [1].

Ses dalgalarının oluşumu, iletimi, etkileri ve işitme ile ilgili konuları inceleyen ve uygulama olanaklarını araştıran bilim "Akustik" olarak adlandırılır.

2.1 Temel Ses Kavramları

Saf ton bir ses dalgasının hareketi, matematiksel olarak sinüs veya kosinüs fonksiyonu biçiminde, temel bir frekansla kendini tekrarlayan ve basit harmonik hareket oluşturan periyodik bir dalga olup; "Genlik", "Frekans", "Hız" ve "Dalgaboyu" terimleri ile açıklanabilir [2].



Şekil 2.1 : Ses Karakteristikleri [2]

Genlik: Maksimum ve minimum basınç düzeyleri arasındaki farktır. Sinüs veya kosinüs şeklindeki kendini tekrarlayan periyodik dalganın herhangi bir anındaki genlik (uzanım), r genlik, f frekans, t zaman, x dalganın aldığı yol, c ses hızı, $2\pi f$ açısal hız olmak üzere şu bağıntı ile hesaplanır **(2.1).**

$$y = r.\mathrm{Sin}[2\pi f (t - x / c)] \quad \textbf{(2.1)}$$

Frekans: Birim zamandaki (sn) titreşim sayısıdır. f ile gösterilir. Frekans birimi Hertz (Hz)dir. 1 Hz, saniyede bir titreşim demektir. Yüksek frekans değerleri için Hertz'in bin katı olan kilohertz (kHz) birimi kullanılır. İnsan kulağının duyabildiği ses frekans değerleri 16 ile 20000 Hz arasında olan titreşimlerdir. Eğer bir frekans 16 Hz'in altında ise bu tür titreşimlere ses altı titreşimler, frekansı 20 kHz'in üzerindeki titreşimlere ise ses üstü titreşimler denilmektedir. Frekans yükseldikçe, yani saniyedeki titreşim sayısı arttıkça ses incelir. 16 Hz işitilebilen en kalın ses, 20.000 Hz ise en ince sestir [2].

Devir Süresi: Devir süresi, bir titreşimin süresidir. Birimi saniyedir. İnsan kulağı tarafından duyulan seslerin titreşimi 1/16 ile 1/16000 sn arasındadır [2].

Devir süresi T ile gösterilirse;

T= 1/f seklinde ifade edilebilir.

Dalgaboyu: İki dalga tepesi arasındaki dik mesafedir. Bir başka deyişle, titreşimin yayılısında, titreşimin bir devir süresi içinde gittiği yola verilen isimdir. Dolayısıyla dalga boyu sesin titreşim hareketi özellikleriyle ortamın özelliklerine bağlıdır. Sesin ortamlara göre yayılma hızı farklı olacağından doğal olarak dalga boyu da farklı olacaktır. Lamda (λ) ile gösterilir. Frekans (f) ve sesin hızına (c) bağlıdır [2].

$$\lambda . f = c \quad \textbf{(2.2)}$$

Hız: Ses dalgasının ortamda yayılma hızını (m/sn) ifade eder. İletildiği ortama ve o ortamın sıcaklığına bağlı olarak değişir. Havanın ideal gaz gibi davrandığı varsayımı ile sesin hızı (m/sn) ve havanın sıcaklığı (T°C) arasında aşağıdaki bağıntı vardır. Yaklaşık olarak 21°C sıcaklıkta sesin hızı 344 m/sn dir [2].

$$V = 331{,}5 + (0{,}6*T) \text{ m/sn} \quad \textbf{(2.3)}$$

2.2 Ses Düzeyi

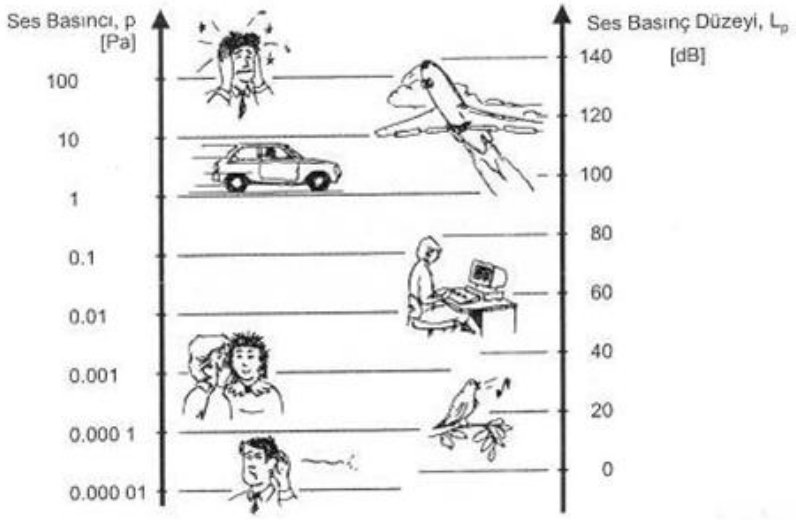
Ses Düzeyi İle İlgili Bazı Tanımlar

dB: Desibel, bir oranı veya göreli bir değeri gösterir. Alexander Graham Bell'in anısına bel adı verilen birim, iki büyüklüğün oranının logaritması olarak tanımlanmaktadır. Yani 1 bel, oranları 10 olan iki büyüklüğü göstermektedir. Bu oranın çok büyük olmasından dolayı "Desibel" adı verilen ve oranların logaritmasının 10 katı olarak tanımlanan birim daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sayılardan biri bilinen bir sayı olarak alındığından, Desibel; söz konusu bir büyüklüğün referans büyüklüğüne oranının logaritmasının 10 katıdır.

20 mikropaskal (μPa) ile 100 Paskal (Pa) arasındaki duyulabilir ses basınç değişimleri statik hava basıncına (yaklaşık değeri 100.000 Pa olan atmosfer basıncı) nazaran düşük seviyeli değişikliklerdir.

20 μPa ortalama bir kişi tarafından duyulabilecek en düşük ses seviyesi olarak kabul edilmiştir ve bu nedenle DUYUM EŞİĞİ olarak adlandırılır.

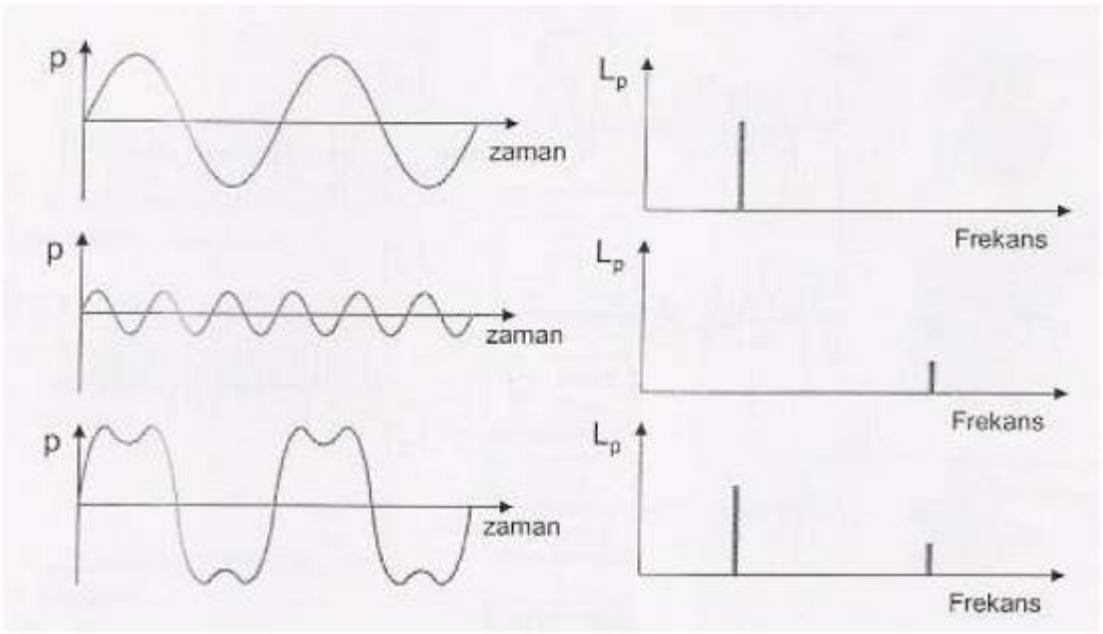
100 Pa ise acı veren çok yüksek bir seviyedir ve bu nedenle ACI EŞİĞİ olarak adlandırılır.



Şekil 2.2 : Ses Basıncının Değişim Aralığı [2]

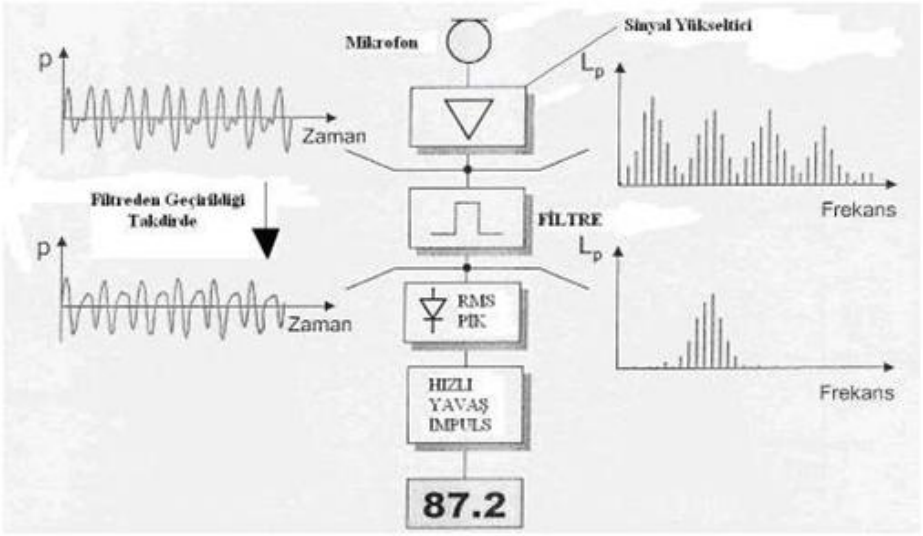
Bu iki seviye arasındaki oran milyon mertebesindedir ve kullanılacak olan Pa cinsinden bir lineer skalanın aralığı çok büyük olacaktır. Bu nedenle kullanılan skala lineer değil logaritmiktir. Ölçüm değişim aralıkları daha kolay izlenebilir olmaktadır [2].

Frekans Analizi ve dB(A):



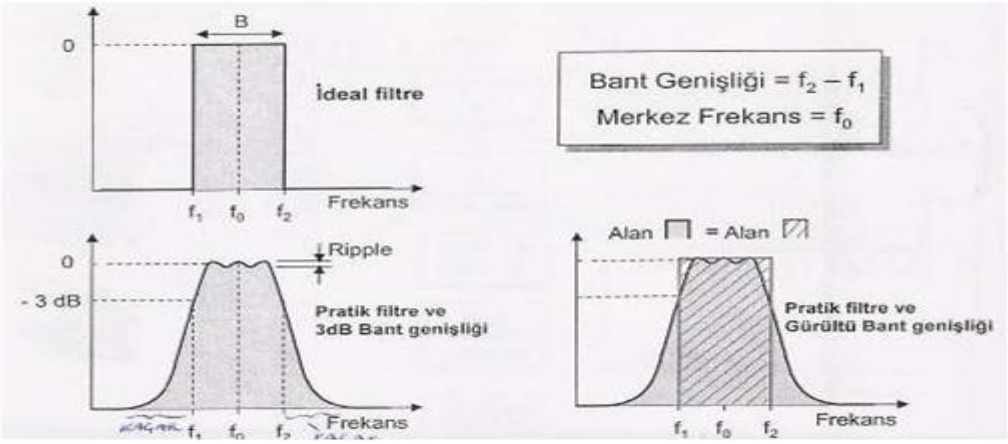
Şekil 2.3 : Dalga Formları ve Frekanslar [2]

Yukarıda iki farklı frekanstaki ses ile bunların toplamına ilişkin zaman ve frekans eksenlerinde nasıl görüldüğü tariflenmiştir. Çevre gürültüsünün pek çok ses sinyalinin karmaşık yapısından oluştuğunu düşündüğümüzde, frekans analizinin bize kazandırdığı şey, bir sinyalin hangi büyüklükteki hangi frekans bileşenlerinden meydana geldiğini göstermesidir. Elde edilen frekans bileşenlerinin sayısı (spektrumdaki çizgi sayısı), analizin hassasiyetini belirleyen bir faktördür ve kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir [2].



Şekil 2.4 : Filtreler [2]

Ses sinyallerini analiz edebilmek için frekans filtrelerine ihtiyaç vardır. Yukarıda gösterilen akış diyagramı basit bir ses ölçüm cihazındaki elemanları göstermektedir. Bu akı şemasına göre ilk başta alıcı görevinde bir mikrofon yer alır ve sinyal yükseltici vasıtasıyla sinyalin seviyesi yükseltilir. Frekans filtrelerinden geçen sinyal standart zaman sabitlerine (hızlı, yavaş, darbe) sahip olacak şekilde rektifiye edilir ve dB'e çevrilerek ekrana aktarılır [2].



Şekil 2.5 : Bant Geçirgen Filtreler ve Bant Genişliği [2]

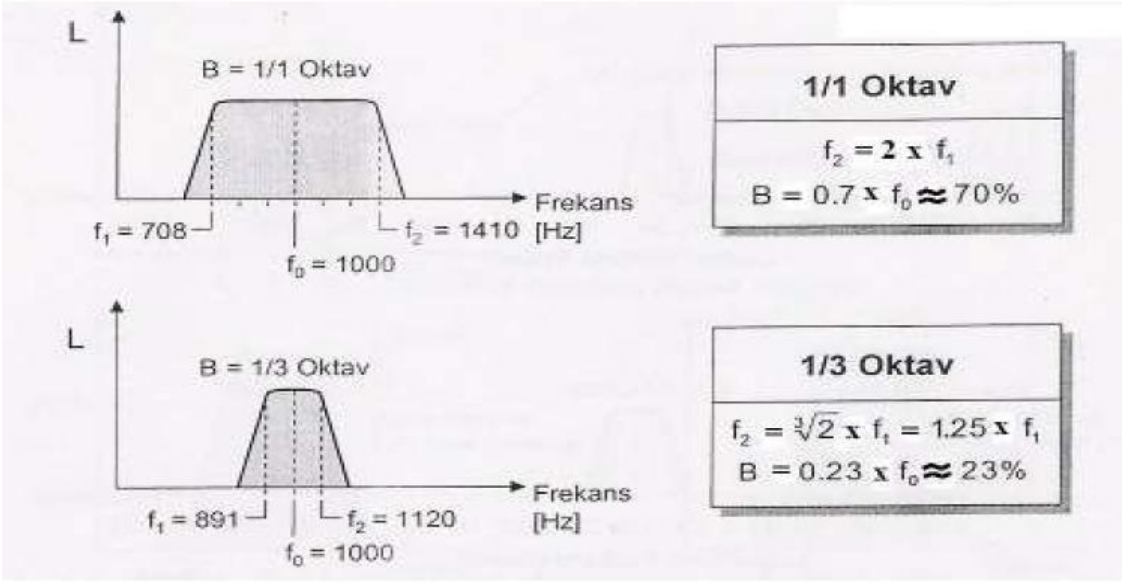
İdeal filtreler sadece matematiksel olarak kabul edilirler, ancak gerçekte kullanılan filtrelerin düzgün bir şekli yoktur. Matematiksel kabul halindeki tepesi düzgün bir filtre ile gerçek filtrelerin birbirinden farkı "Ripple" (dalgalanma faktörü) olarak adlandırılır.

Bir filtrenin "Bantgenişliği", seviyenin 3 dB (metrik olarak 0,707'sine) düştüğü noktadaki frekansların farkı olarak tarif edilir.

Bir filtrenin "gürültü bantgenişliği" ise gerçek filtrenin taradığı alana eş alan tarayan ideal bir filtrenin bantgenişliğidir.

Bantgenişliği sabit olan (örneğin 400 Hz gibi) filtreler lineer bir frekans ekseninde gösterilir. Bu tip filtreler çoğunlukla titreşim sinyallerinin analizi sırasında kullanılmaktadır.

Bantgenişliğinin merkez frekansa oranı sabit olan filtreler ise logaritmik bir eksende gösterilirler. Bu tip filtreler insan kulağının filtreleme yapısına en yakın karakteristiğe sahip olduğundan akustik uygulamalarda daha çok kullanılır (örneğin oktav filtreleri) [2].



Şekil 2.6 : 1/1 ve 1/3 Oktav Filtreleri [2]

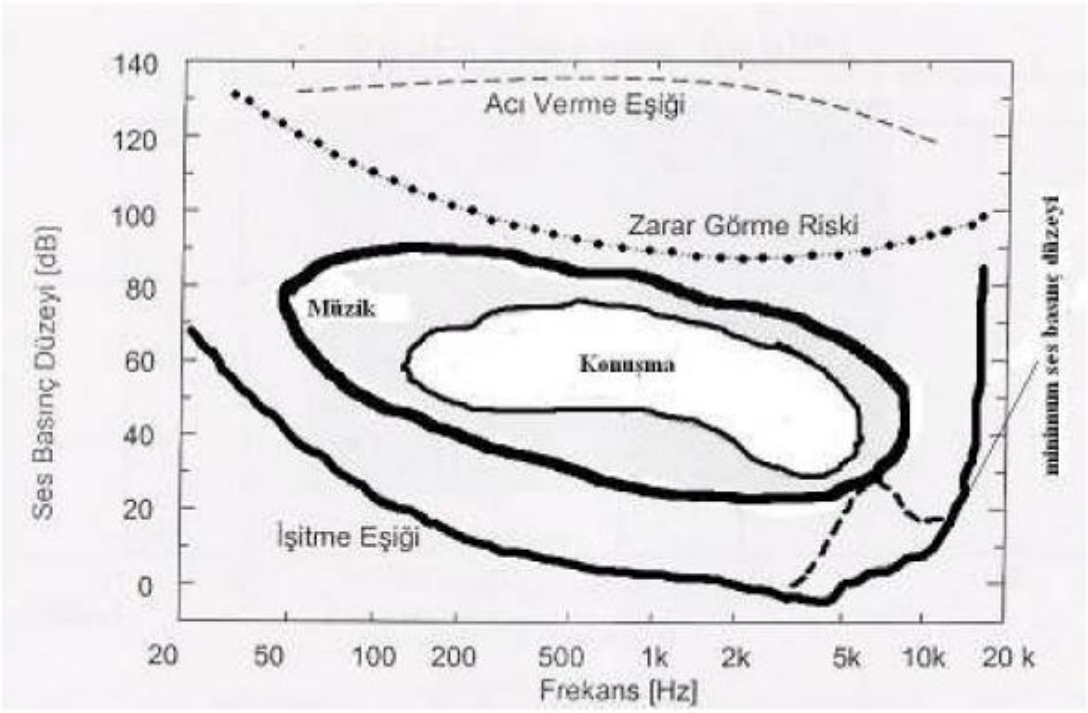
Kullanılan en geniş oktav filtresinin bantgenişliği 1 oktavdır. Bunun dışında 1/3 veya 1/12 gibi daha dar genişlikte oktav bantları bulunmaktadır. Bu tip filtrelere "sabit oranlı bant genişliği" filtreleri denilmektedir. Burada orandan kasıt bantgenişliğinin merkez frekansına oranının sabit olmasıdır. Örneğin 1/1 oktav filtresinde bantgenişliğinin merkez frekansına oranı yaklaşık olarak %70'dir.

En popüler olanlar ise 1/3 oktav filtreleridir. Bu filtrelerin en büyük avantajı, özellikle 500 Hz üzerindeki bantların insan duyu sisteminde yer alan frekans filtrelerine benzemesidir.

Bugüne kadar geliştirilen en dar banda sahip filtre 1/96 oktavdır.

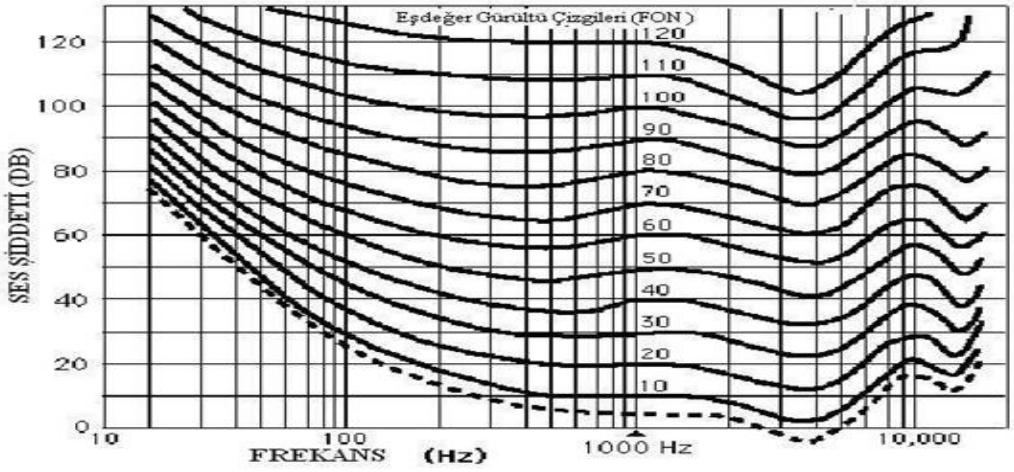
Sabit oranlı bantgenişliğine sahip filtrelerin bir avantajı, komşu iki filtrenin birleşerek bant genişliği her bir filtrenin iki katı olan tek ve düzgün bir filtre meydana getirebilmek özelliğidir. Birbirine komşu 1/3 oktavlık üç oktav bandı birleştiğinde 101 oktav filtresi oluşturur.

Sonuç olarak, 1/3 oktav bant filtreleri kullanılsa dahi bir "frekans aralığından" söz edilmektedir. Gürültünün tam olarak hangi frekansta olduğunu söyleyebilmek için daha ayrıntılı çözünürlüğe sahip ölçümler yapmak gerekir. Bu da hem pahalıdır hem de daha çok zaman gerektirir [2].



Şekil 2.7 : İşitme Sınırları [2]

Yukarıda bir insanın işitebileceği sesin limitleri gösterilmektedir. En altta yer alan sınır çizgisi arı sesin duyulmaya başladığı en düşük seviyeye karşılık gelmektedir. En üstteki kesik çizgi sınırı ise acı verme eşiğini belirler. Ayrıca zarar görme sınırı üzerinde belirli süre gürültüye maruz kalındığında kalıcı ses kayıpları meydana gelebilir. Yüksek frekanslarda işitme eşiği sağ alttaki gibi yükselebilir [2].



Şekil 2.8 : Arı Sesler için Eşdeğer Gürültü Eğrileri [2]

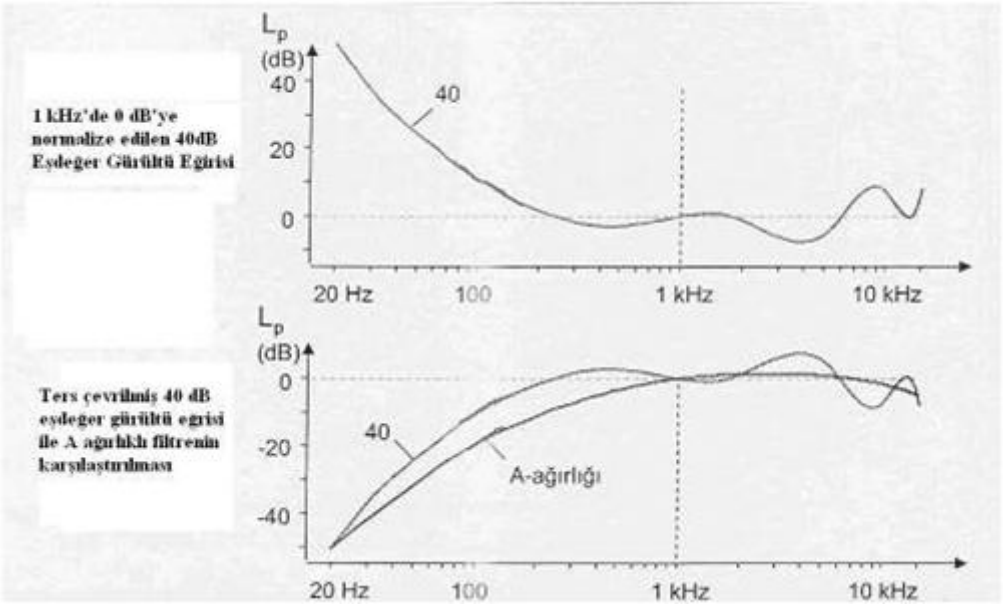
İnsan kulağı en fazla 500 Hz ile 4000 Hz frekans aralığına sahip seslere duyarlıdır. Bu değerler konturları dışında yer alan seslere ise daha az duyarlıdır. Yukarıda arı

sesler için eşdeğer gürültü eğrileri gösterilmiştir. En altta yer alan kesik çizgiler duyulabilirlik sınırına karşılık gelmektedir.

Bu grafik, insan işitme sisteminin ne kadar değişken bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Örneğin, 1-2 kHz de duyduğumuz bir ses ile 20 Hz'de duyduğumuz bir sesin aynı yüksekliğe sahip olabilmesi için 20 Hz'deki sesin yaklaşık 80 dB daha yüksek bir ses basınç düzeyine ihtiyacı vardır.

Basınçları aynı, fakat frekansları farklı olan sesler, insan kulağı ile farklı algılanmaktadır. Örneğin; 50 dB düzeyindeki iki sesten 70 Hz frekanslı olanı ancak işitilebilirken 1000 Hz frekanslı olanı yüksek bir ses olarak algılanmaktadır. Frekansı da değişken olarak kabul eden ses değerlendirme ölçütü yeğinlik ve bunun birimi de Phon'dur.

Yukarıdaki grafik 1kHz referans alınarak hazırlanmıştır. Eşdeğer gürültü eğrilerinin birimi fon "phon" dur. 1 kHz'de dB ve fon özdeştir. Eğer bir frekanstaki sese ait ses düzeyi biliniyorsa, enterpolasyon ile onun gürültü değeri (loudness) bulunabilir. Böylece değişik frekanslara ait sesler karşılaştırılabilir [2].



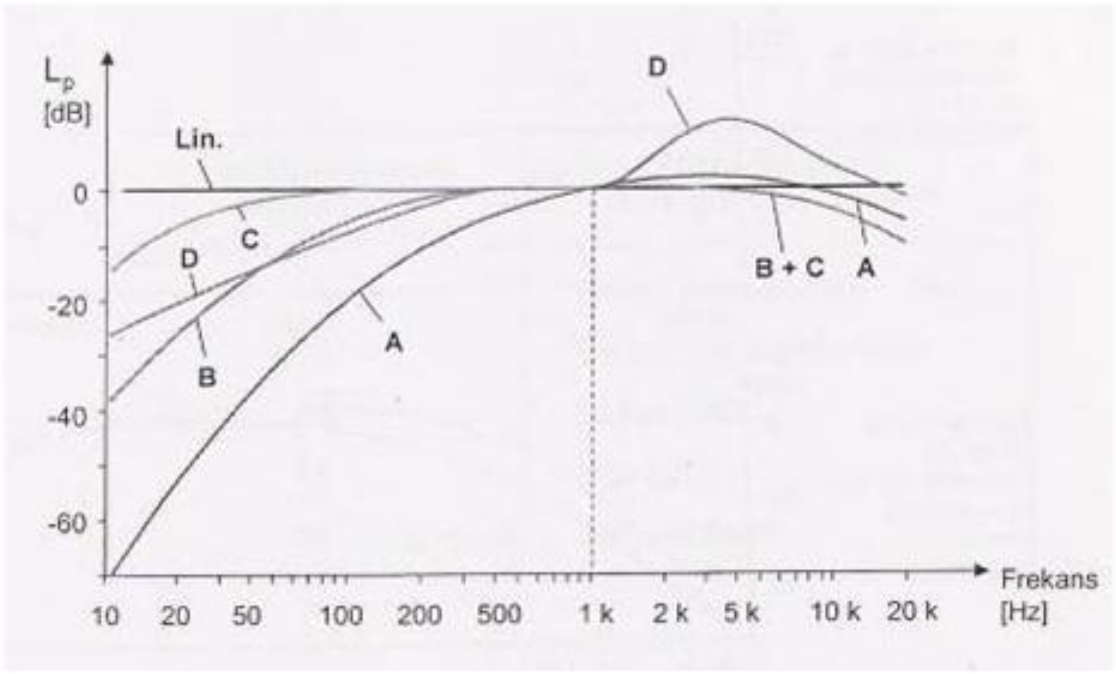
Şekil 2.9 : 40 dB Eşdeğer Gürültü Eğrisi ve A-Ağırlıklı Filtre [2]

Daha önce de belirtildiği üzere 1 kHz de dB ve fon özdeştir. Genel anlamda dBA, A filtresinden geçirilmiş gürültü düzeyi anlamı taşır. Gürültü azaltması veya

kontrolünde çok kullanılan dBA birimi, ses yüksekliğinin subjektif değerlendirmesi ile ilişkili bir kavramdır.

Her bir filtrenin hassaslık gösterdiği frekans farklı olduğundan amaca yönelik belirli ölçümler için belirli ağırlık eğrileri kullanılır. Örneğin A ağırlık eğrisi insan kulağının en çok hassas olduğu orta ve yüksek frekansların özellikle vurgulandığı bir ses değerlendirmesi birimidir ve genellikle ortamın gürültü düzeyinin ölçülmesinde kullanılır. Bunun dışında, çevre gürültüsünün (rüzgar tribünü, doğal hayat, vs) ölçümünde C ağırlık eğrisi, havaalanı gürültüsü için yüksek frekanslara hassas olan (1-10 kHz) ve uçak motorlarından çıkan gürültü düzeyinin de bu aralıkta bulunduğu D eğrisi kullanılmaktadır [2].

Eşdeğer Gürültü Seviyesi (L_{eq}): Belirli bir T zaman aralığında düzenli veya düzensiz olarak süreklilik gösteren toplam ses enerjisinin veya ses basınçlarının ölçüm süresine bölünmesiyle elde edilen dBA biriminde bir gürültü ölçeğidir. Simgesi (L_{eq}) olup, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Başka bir deyişle, ortamda değişen gürültü ile aynı akustik enerjiye sahip olan sabit ses düzeyi olarak tanımlanabilir [2].



Şekil 2.10 : Frekans Ağırlık Eğrileri [2]

$$L_{eq} = 10 * \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \text{ dBA} \qquad \textbf{(2.4)}$$

T= *Toplam Ölçüm Süresi*

p(t)= *anlık ses basıncı*

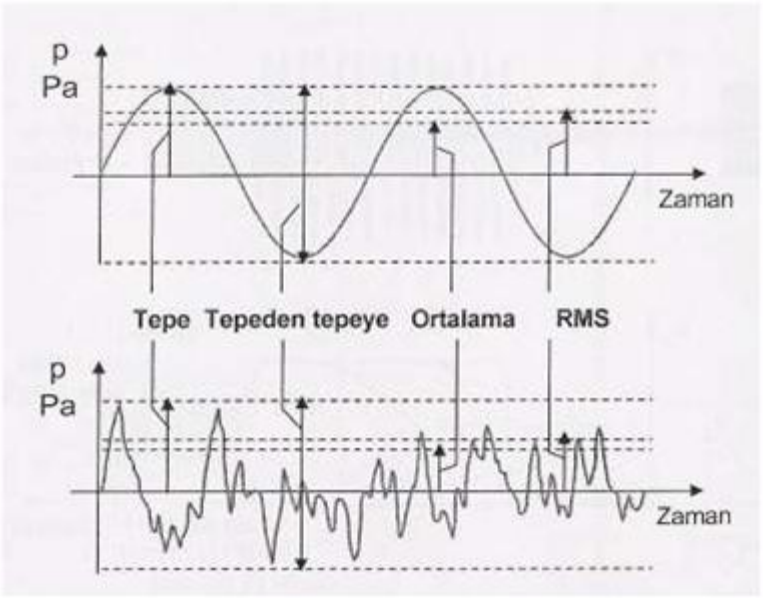
p_0 = *referans ses basıncı* $20 \mu Pa$

En Yüksek Ses Seviyesi (L_{max}): Tepe Düzeyi = Üst Düzey (L_{max}): Zamana göre değişen gürültünün herhangi bir anda sahip olduğu en yüksek değerdir.

En Düşük Ses Seviyesi (L_{min}): Zamana göre değişen gürültünün herhangi bir anında sahip olduğu en düşük gürültü değeri.

Ses Düzeyi Parametreleri:

Bir sinyalin tanımlanmasında Karakök Ortalama RMS (Root Mean Square) ve Tepe (Peak) en çok kullanılan parametrelerdir.



Şekil 2.11 : Ses Düzeyi Parametreleri [2]

Ortalama değer bir sinyal hakkında çok fazla bilgi vermediği için kullanılmaz. Tepe ve Ortalamam Karekök (RMS) en çok kullanılan değerlerdir. Tepe bir sinyalin ulaştığı en yüksek (pozitif veya negatif) değeri gösterirken Tepe Faktörü ise bir sinyalin sinüzoidalliğini gösterir. Örneğin içersinde sadece birkaç tane tepe yer alan sinyalin tepe faktörü oldukça büyüktür.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T x^2(t)dt} \qquad \textbf{(2.5)}$$

$$TepeFaktörü\ \frac{Tepe}{RMS} = \left(\text{crest factor}\right)$$

L_{gag} **(Gündüz, akşam, gece gürültü göstergesi):** A ağırlıklı uzun dönem ses düzeyi ortalaması olup, günlük rahatsızlık düzeyini,

$L_{gündüz}$ **(Gündüz gürültü göstergesi):** A ağırlıklı uzun dönem ses düzeyi ortalaması olup, yılın gündüz sürelerinin tamamına göre belirlenir ve gündüz süresince rahatsızlık düzeyini,

$L_{akşam}$ **(Akşam gürültü göstergesi):** A ağırlıklı uzun dönem ses düzeyi ortalaması olup, yılın akşam sürelerinin tamamına göre belirlenir ve akşam süresince rahatsızlık düzeyini,

L_{gece} **(Gece gürültü göstergesi):** A ağırlıklı uzun dönem ses düzeyi ortalaması olup, yılın gece sürelerinin tamamına göre belirlenir ve gece süresince uyku kaçırıcı rahatsızlık düzeyini,

$LA_{\max}$ **:** Ölçüm süresi içerisinde A ağırlıklı ses düzeyinin en büyük değerini (dBA olarak ölçülür.) gösterir [2].

2.3 Gürültü Kaynakları

11 Aralık 1986 tarihinde 19308 sayılı Resmi Gazete ile yürürlüğe giren Gürültü Kontrol Yönetmeliği'nin 4. maddesine gürültü "Gelişigüzel bir yapısı olan bir ses spektrumudur ki, subjektif olarak, istenmeyen ses" şeklinde tanımlanır. Hızla değişim gösteren yaşam standartlarına paralel olarak artan makinaleşme ve toplu yerleşim insanoğlunun yüzyıllardır bildiği gürültüyü daha fazla yaşamımız içine katmıştır. Gürültü kaynakları hızlı bir şekilde artarken gürültü önleyici önemler aynı ivmeyi yakalayamamıştır. Gürültünün nedenlerini aşağıdaki gibi sıralanabilir

-Ulaştırma kaynakları olan kara, hava ve deniz trafiğinin artması bununla birlikte inşaat ve endüstri sektörlerinde dış ve iç gürültüyü artıran makine kullanımının çoğalması gürültü kaynaklarını fazlalaştırmıştır.

-Genellikle yapılarda kullanılan malzemelerin gürültü etkisi dikkate alınmamıştır. Eğlence merkezlerinin yaygınlaşması ve bu alanlardaki gürültünün hem içerde hem dışarda da aynı seviyelere yükselmesi gürültüyü arttırmıştır.

-Arazi kullanımındaki limitler nedeniyle yapılar yatay dağılım yerine dikey dağılım doğrultusunda inşa edilmiş bu da gürültü seviyesini arttırmıştır.

Gürültü kaynakları etki kaynakları bakımından da sınıflandırılabilirler [3].

a) Endüstri Kaynaklı Gürültüler

-Fanların neden oldukları gürültüler

-Çeşitli elektrik motorlarının gürültüsü

-Pompa gürültüleri

-Dişli gürültüleri

b) Ulaşım Kaynaklı Gürültüler

-Karayolu Trafiği

-Havayolu Trafiği

-Demiryolu Trafiği

c) Yol ve Yapı Çalışmaları Sonucu Oluşan Gürültüler

d) Yerleşim Kaynaklı Oluşan Gürültüler

2.3.1 Karayolu trafiği kaynaklı gürültü

Karayollarının en önemli mühendislik yapılarından biri olmasının nedeni şehirler hatta ülkeler arası sosyal, kültürel ve ekonomik bağlar kuruyor olmasıdır. Karayollarının yapım sürecinde oluşturduğu etkilerin dışında bir karayolu servis süresi boyunca iki önemli kirliliğe neden olmaktadır. Bunlar hava kirliliği ve gürültü kirliliğidir.

Karayolların üzerinde araçların hareket etmeleri için yakıt enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmeleri sırasında çeşitli parçalardan ve yanmadan olayı bu araçların her biri noktasal bir gürültü kaynağına dönüşmektedir. Akan bir trafikte ise bu noktasal kaynaklar bir çizgi kaynağa dönüşür ve yerleşim alanları içinde bu kaynak diğer oluşabilcek bütün kaynaklar içinde en devamlılığı olanıdır [3].

Karayolu kaynaklı gürültüyü etkileyen bazı fiziksel faktörler şunlardır:

1. Yol Ekseninden İtibaren Mesafe: Yol ekseninden uzaklaştıkça gürültü miktarında azalma meydana gelmektedir. Örneğin çevresindeki arazi ile aynı

seviyede ve 96 km/s hızlı 6000 taşıt/şerit-h kapasiteli bir yolda mesafeye bağlı olarak değişim aşağıdaki gibi olmaktadır:

30,5 m 76 dB

61,0 m 71 dB

152.0m 62 dB

2. Taşıt Tipleri: Gürültü emisyonu bakımında taşıtlar 3 gruba ayrılırlar.

a. Hafif Taşıtlar: Otomobiller, kamyonetler ve ağırlığı 3000 kg. az veya eşit iki dingilli ticari taşıtlar.

b. Orta Taşıtlar: Boş ağırlığı 3000 kg. altı ve iki dingilli ticari taşıtlar, otobüsler.

c. Ağır Taşıtlar: üç veya daha fazla dingilli tüm ticari taşıtlar.

3. Trafik Koşulları: Bir trafik akımında taşıt hareketine ilişkin parametrelerin gürültüyü etkileme özelliklerini özetlersek:

a. Akım Cinsi: Trafik gürültüsü serbest ve serbest olmayan akım koşullarına bağlı olarak göre değişir. Trafik gürültüsü serbest veya serbest olmayan akım koşullarına bağlıdır. Serbest trafik akımı, uzun süre ve mesafede sürekli bir sabit hız ve hacme sahip olan akım olduğu için bu tip akımda değerlendirme yapmak daha kolaydır. İkinci tür akımda ise sinyal sistemleri nedeniyle taşıtların yığılması ve duraklamalar nedeniyle hız ve yoğunluktaki değişimlere de bağlı olarak değerlendirmede değişkenler arttığı için daha kompleks bir durum vardır.

b. Trafik Hacmi: Bir trafik akımında taşıt sayısı gürültüyü etkileyen en önemli faktördür. Araştırmalar trafik akımındaki artışın gürültüyü de beraberinde arttırdığını ve bunun üst sınırın 85 dB(A) olduğunu ortaya koymuştur. Bazı yayınlarda bu sınır değere L10 için (Ele alınan sürenin % 10'unda asılan gürültü düzeyi) 4000 taşıt/sa 'te ulaşıldığı belirtilmektedir.

c. Ortalama Trafik Hızı: Trafik hızının ortalama etkisi gürültü oluşumunda çok önemlidir. Ortalama trafik hızındaki azalma gürültüde de azalmaya neden olmaktadır. Değişik tipteki araçların hızı ile gürültü artışı 10-15 dB(A) kadar bir değişim gösterebilir. Araç hızının iki katı artması halinde gürültü düzeyinde 6 dB(A)' lik bir artış gözlenir.

d. Trafik Kompozisyonu: Bir trafik akımındaki değişik tipteki taşıtların karışımı, trafik kompozisyonu olarak tanımlanır. Genel olarak ağır taşıt yüzdesindeki artışa bağlı olarak gürültü düzeyi de artmaktadır.

4. Lastik Türü: Kullanılan Lastiklerin konstrüksiyonu, yüzey şekli, örüntüsü (cepli, dairesel ve uzunluğuna kaburgalı, çelik radyal, çapraz yivli vd.) ve eskime durumu gürültü üzerinde etkilidir. Aşınmış ve düzleşmiş lastiklerin gürültüyü artırıcı etkileri daha fazladır. Beton kaplamalarda yıpranmış lastikler düz lastiklere göre 14 dB(A) daha gürültülüdür.

Yolun özelliklerinden dolayı çevresinde oluşturduğu gürültü de buna bağlı olarak değişmektedir.

5. Yol Genişliği ve Şerit Sayısı: Yolun geometrik özellikleri olan trafik hızı ve hacmi trafik gürültü seviyesini etkiler.

6. Yol Yüzeyi: Karayolunun yol yüzey kaplaması ve araçlarda kullanılan lastiklerin çeşitleri gürültüyü önemli ölçüde etkiler. Belirli hızlara kadar lastik gürültüsü etkiliyken daha sonra aerodinamik gürültü etkili olmaktadır.

7. Yol Eğimi: Öncelikle ağır taşıtlar için yol eğiminin etkisi çok fazladır.Araştırmalar %7'lik bi eğimin gürültüyü 5 dB(A) arttırdığını fakat %2 'den daha düşük eğimler için gürültü seviyelerinde bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir.

8. Yatay Kurplar ve Kesişmeler: Yolda yapılması zorunlu olan kurblarda hız değişimlerinin gürültüye etkisi vardır. Aynı zamanda kurba daha büyük bir alan kullanıldığı için yakın çevresini gürültü bakımında daha çok etkiler.

9. Yol Altyapısı: Yol kotunun çevre zemin seviyesinin altında olması gürültü düzeylerinde ve ses dalgalarında bozulmalara yol açmaktadır. Yolun iki tarafındaki toprak setler veya yarmalar, önemli birer gürültü engelli olarak görev yaparlar bunun nedeni üstlerinden iletilen ses dalgalarını kırarak arkalarında ve hatta uzak mesafelerde önemli bir azalmaya neden olmalarıdır. Bununla birlikte setlerin yüzey kaplaması önemli bir rol oynar, kaplama yüksek derecede yantıcı özelliklere sahip ise yarmanın eğim açısına bağlı olarak yansıyan ses yolun iki tarafında belirli noktalarda düzeyi artırabilir. Yükseltilmiş yollar da gürültü yönünden olumsuz koşullar oluşturmaktadır [3].

2.3.1.1 Motor ve egzoz gürültüsü

Araçlardan kaynaklanan gürültünün ana kaynağı genelikle motor gürültüsüdür. Motorun titreşen aksanları, yanma olayı ve bu olayı gerçekleştiren enjeksiyon pompası, egzoz sistemi, kompresör ve benzeri parçaların tümünden oluşan gürültü motor gürültüsüdür. Motor gürültüsü, kararlı harmonik yapılı bir gürültü ile stokastik, insan sesine benzeyen yapılı bir gürültüden meydana gelir ve stokastik yapılı kısmından daha güçlü olan bu kararlı harmonik yapılı gürültü, motordaki yanma olayından kaynaklanmaktadır [4].

Motor silindirindeki yanma sonucu oluşan basınç silindirlerdeki pistonları iterek silindirlerde dolayısıyla motorda titreşim sağlar. Titreşen her cisimde olduğu gibi motor titreşimi de havaya yayılan basınç gürültü oluşumuna neden olur.

Düşük hızlarda (motor devri yüksek) motor gürültü kaynağının ilk nedeni iken yüksek hızlarda (motor devri düşük) aerodinamik gürültü ve yol-lastik yüzeyi sürtünme sesi gürültünün oluşumunda daha etkilidir [3].

Araştırmalar araçların sağ taraflarının sol taraflarına göre daha fazla gürültüye neden olduklarını bununda marş dinomosu ve kağışı gibi motor parçalarının sağ tarafda bulunmasından kaynaklı olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte dizel taşıtlar benzinli taşıtlara göre daha fazla gürültüye neden olmaktadırlar [5].

Araç egzoz sistemlerinin tasarımının da gürültüye çok önemli etkileri vardır. İyi tasarlanmış bir sistem araç gürültüsünü %40 oranında düşürme potansiyeline sahip olabilir [3].

2.3.1.2 Aerodinamik gürültü

Yüksek hızlarda aerodinamik gürültü daha fazla önem kazanır. Aracın dış çevresinde oluşan hava akımının akışı sırasında olan titreşimler gürültüye neden olmaktadır. İyi bir şekilde tasarlanmış kaporta aracın çevresinde oluşacak hava akımının daha kolay bir şekilde akmasına bu da titreşim kaynaklı gürültünün azalmasına neden olur. Bu tip gürültü, aracın aerodinamik yapısının yanı sıra, çevre rüzgâr hızı ve yönelimine de bağlıdır [4].

2.3.1.3 Yol yüzeyi gürültüsü

Araç lastiğinin yol yüzeyi ile olan sürtünmesine bağlı gürültü en önemli kaynaklardan biridir. Yol yüzeyi gürültüsü genelikle dizel motorlu araçlar dışında tüm taşıtlar için 100 km/saat ve üstündeki hızlarda en etkin gürültü kaynağıdır. Modern küçük taşıtlar için ise bu değer 60 km/sa seviyesine kadar düşebilmektedir.

Lastikte gürültü oluşmasını sağlayan başlıca oluşum mekanizmalarını üç şekilde gruplandırabiliriz. Bunlardan ilki lastiğin elastikliği nedeniyle temas sırasında havanın lastik profil kanallarında sıkışması ve yol yüzeyinden lastik ayrılırken serbest kalan kanallara havanın yeniden dolması hareketi olan (Hava Pompalama),bir diğeri ise lastiğin ön ve arka kısımlarındaki yol ve lastik arasında kalan hava kütlelerinin oluşturduğu rezonans (Horn Effect), ve son olarak da lastik titreşimleri ve tekerliğe uygulanan tahrik veya fren etkilerinin neden olduğu kayma ve yapışma hareketidir. Araç tekerleğinin yüzeye temas yüzeyi olmaksızın dönmesi ile oluşan hava türbülanslı aerodinamik gürültü diğer gürültü kaynalarına göre ihmal edilecek seviyelerdedir [6].

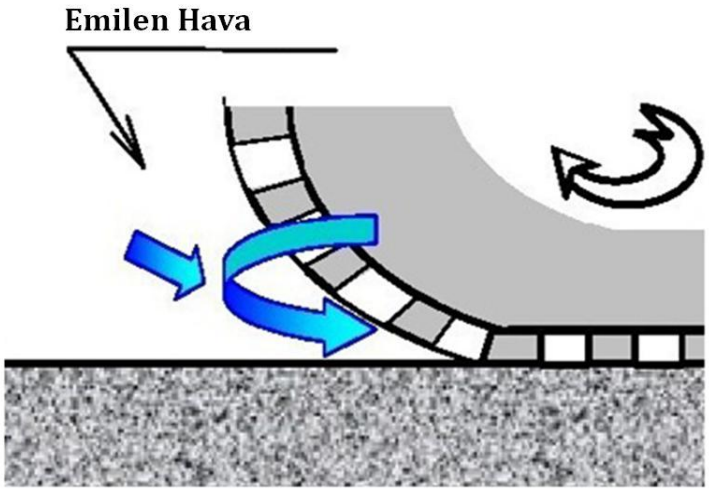
2.3.1.3.1 Hava pompalama (Air Pumping) ve hava rezonansları (Horn Effect)

Teker-yol temas yüzeyindeki lastik profillerinin boyları, ağırlıkları ve kauçuk malzeme içeriklerinden dolayı kısalır bunun sonucu olarak da lastik yüzey kanalları arasında hava sıkışır. Su iletim kanalları arasında yol bulan sıkışmış hava, basıncın daha az olduğu bölgelere doğru kaçar. Kanal profilleri dinamik tekerlek hareketi ile ağırlık taşıyan kısmın boşa çıkması ile eski uzunluklarına gelirler. Bu durum ters yönlü bir hava akımına neden olur.. Kısa süreli bu kısalma ve uzama hareketinin teker çevresinde, hareket süresince sürekli olarak gerçeklesmesi yüksek frekanslı bir gürültüye (>1000 Hz) neden olur. Bu olaya “Hava Pompalama” adı verilir [6].

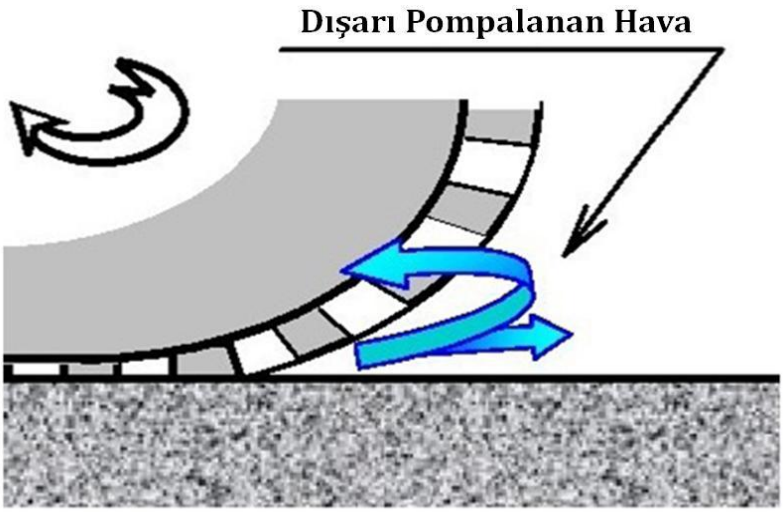
2.3.1.3.2 Lastik titreşimleri ve moment altında kayma ve yapışma

Lastik profilleriyle yol yüzeyinin teması ve kaplamasının pürüzlülüğü, lastik profillerinin titreşmesine bunun sonucu olarak da gürültü oluşumuna neden olurlar. Bu titreşimlerin etkisi daha çok lastik yanaklarında oluşmaktadır. Bu titreşimler lastik yanaklarına iletildiklerinde, en etkili bölgesi 400-1000 Hz civarında olan bir gürültü oluşmasına neden olurlar. Lastik yanaklarının bu titreşimleri, lastik-yol gürültüsünün ana kaynağıdır.

Lastik sırt yüzeyindeki çevresel düz kanalların temas yüzeyinde bulunan kısımlarının oluşan gürültüyü arttırıcı etkileri vardır. Profil elemanlarının titreşimleriyle oluşan gürültünün frekansı, elemanların boyutuna ve lastik dönüş hızına bağlıdır. Temas yüzeyinin uzunluğu temas yüzeyindeki kanalların frekansını belirlerken, profil elemanlarının frekasıyla çakıştığı durumlarda ise gürültü seviyesinde önemli bir artış gözlemlenir. Ayrıca, tekerliğe uygulanan tahrik ve fren momentleri, temas yüzeyinde kayma oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum da lastik-yol gürültüsünü büyük ölçüde arttırmaktadır [3].



Şekil 2.12 : Emilen Hava



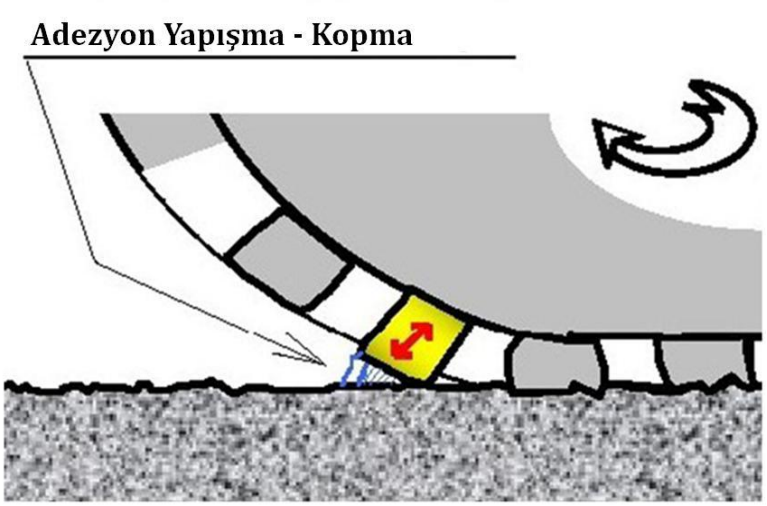
Şekil 2.13 : Dışarı Pompalanan Hava

2.4 Gürültü Ölçümü

Karayolu gürültüsünü ölçmek için bir çok standartlaştırılmış metot vardır. Genelikle gürültü ölçme metotları ikiye ayrılır. Bunlar saha ölçümlerinde kullanılan metotlar ya da laboratuvar ortamında kullanılanlardır.

2.4.1 İstatiksel olarak yolun yanından geçme metotu

Bu metotta yolun orta noktasına yerleştirilen mikrofonlarla yoldan rasgele geçen araçların maksimum ses düzeylerinin ölçümleri yapılır. Mikrofonlar yolun ortasına 7.5m. Uzaklıkğına ve 1.2m yüksekliğine Avrupa standartlarına göre (ISO 1819-1) ve yolun orta noktasına 15.2m. uzaklığına ve 1.52m yukarısına Amerikan standartlarına göre yerleştirilir [7].



Şekil 2.14 : Adezyon Yapışma - Kopma

Bu metot en iyi ölçümleri sağlasa da zaman kaybının çok olması ve her kaplama tipine uygun olmaması gibi kısıtlamaları vardır.

2.4.2 Kontrollü olarak yolun yanından geçme metotu

Bu yöntem temel olarak istatiksel olarak yolun yanında geçme metotu ile aynıdır fakat burda rasgele geçen araçların ölçümü yerine seçilmiş araçlar ya da belirlenmiş hızdaki tek bir aracın ölçümleri gerçekleştirilir. Bu yönteminde istatiksel olarak

yolun yanında geçme metotu gibi kısıtlamaları vardır ve her kaplama tipi için uygun değildir. Bu yöntem Amerika Birleşik Devletleri'nde henüz standartlaştırılmamıştır [8].

2.4.3 En yakınlık metotu

Bu metot tekerlek ve kaplama arasındaki sürtünme gürültüsünü ölçme temelli bir yöntemdir. Bu yöntem bir romörkere bağlı standartlaştırılmış ekipmanlarla gürültü seviyesini ölçmektedir.

İki mikrofon tekerleğin orta noktasının yakınına yerleştirilir. (ISO1819-2). Bu metot ile yapılan ölçümler kısa sürede elde edilir [8].

2.4.4 Empedans tüpü

Laboratuvar ortamında hazırlanan örneklerin sönümlemeyi azaltacak dış etkilerden bağımsız olarak kontrollü bir şekilde ölçülmeleri temeline dayanır. Bu metot empedans tüpü ya da duran dalga olarak adlandırılır ve Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu tarafından standartlaştırılmıştır (ASTM E1050). Bu metotta bir tüp , tüpün iki yanına yerleştirilmiş mikrofonlar ve dijital frekans analiz sistemi kullanılmaktadır. Buna ek olarak Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) tarafından da empedans tüpü ile ses sönümleme katsayısı olarak belirlenmiştir (ISO10534-2).

Metot metaryallerin akustik özelliklerini belirlemek amacıyla bulunmuştur ve metotun prensibi örneklere gönderilen sesin yansıma dalgalarını ölçmek üzerinedir [8].

3. KULLANILMIŞ ARAÇ LASTİKLERİ ve YÖNETİMİ

Bu bölümde kullanılmış lastikler tanımlanarak, geri kazanım, yeniden kullanım yöntemleri ve potansiyel çevresel riskler açıklanmaktadır. Kullanılmış lastikler kısmi yıpranmış ve hurda lastikler olmak üzere iki farklı kategoride ele alınmaktadır.

3.1 Lastiğin Birleşimi ve Genel Özellikleri

Araç lastikleri karmaşık yapıları olan kauçuk bazlı malzemelerdir. Araç lastikleri yol ve lastik arasındaki sürtünme kuvveti ile aşınırlar ve bunun sonucu olarak zamanla kendi ağırlıklarının %10-20 'sini kaybederler. Sürtünme kaynaklı bu ağırlık kayıpları taşıtların türlerine göre değişim göstermektedir. Örneğin bir otomobil lastiği için ağırlığındaki kayıp 1kg olurken, kamyon lastiği için bu değer 8-10kg olabilmektedir. Ebat, desen ve yapı gibi değişkenler araç lastiklerinin ağırlıklarını belirler. Avrupa'da bir oto lastiğinin ortalama ağırlığı 6.5kg ve kamyon lastiğinin 53kg'dır [9].

Lastiğin Kimyasal Yapısı

Araba lastiklerinin yaklaşık olarak %80'i ve kamyon lastiklerinin %75'i kauçuk birleşiğidir. Araç lastiklerinin bileşimi aşağıdaki **Çizelge 3.1** 'de gösterilmiştir [9].

Çizelge 3.1 : Araç Lastikleri Birleşimi [9]

Malzeme	Otomobil Lastiği	Kamyon/Otobüs Lastiği
Kauçuk/Elastomer	%47	%45
Karbon Siyahı/Silika	%21,5	%22
Metal	%16,5	%25
Tekstil	%5,5	-
Çinko Oksit	%1	%2
Kükürt	%1	%1
Katkı Maddeleri	%7,5	%5

Lastikler ağırlıklarının %1.5 düzeyinde aşağıdaki **Çizelge 3.2'**de gösterilmiş birleşik ya da elementleri içerirler [9].

Çizelge 3.2 : Lastik içindeki Basel Konvansiyonunda Belirtilen Tehlikeli Maddeler [9]

Kimyasal Adı	Notlar	Miktar (AĞ.%)
Bakır Bileşikleri	Çelik takviye malzemeler (çelikkord) içinde alaşım şeklinde	~ %0,02
Çinko Bileşikleri	Çinko oksit, lastik ortamında	~%1
Kadmiyum	Çinko oksitte safsızlık olarak	~%0,001max
Kurşun ve Bileşikleri	Çinko oksitte safsızlık olarak	~ % 0,005
Katı Asit veya Asidik Çözelti	Stearik asit (katı)	% 0,3
Organik Halojen Bileşikleri	Halobütül kauçuklar	Halojen miktarı %0,10max

Isısal (Termal) Özellikleri

Araç lastiklerinin ısıl değerleri çok yüksek olup bir lastiğin net kalorifik değeri 32–34 MJ/kg'dır. Bir karşılaştırma yapcak olursak 1 ton lastik ortalama 1 ton iyi kalite kömüre veya 0,7 ton fueloile eşdeğer olduğu görülmektedir. Ülkemizde özellikle bu ısıl değeri nedeniyle araç lastikleri açık havada ve kireç fırınlarında kontrolsüz bir şekilde yakılmaktadır. **Çizelge 3.3** araç lastiğinden elde edilen yakıtın ve diğer yakıtların enerji içerikleri arasındaki karşılaştırmayı göstermektedir [9].

Çizelge 3.3 : Yakıtların Enerji İçeriklerinin Kıyaslanması [9]

Yakıt	Cinsi	Isı İçeriği
Gaz	Doğal	46 MJ/kg
LEY*	Lastikten elde yakıt	32 MJ/kg
Kömür	Kok kömürü	24 MJ/kg
Kömür	Taş kömürü	29 MJ/kg
Odun	Islak odun	10 MJ/kg

* LEY lastikten elde edilen yakıt anlamında kullanılmıştır.

Bir hidrokarbon olan araç lastiğinin yanması sonucunda karbondioksit, su ve inert kalıntıları çeşitli yanma ürünleri ortaya çıkar. Lastikteki kükürt miktarı ortalama %1 kadardır. Bu nedenle yanma esnasında çıkar kükürt dioksit diğer yakıtlardan çıkan miktar kadardır [9].

Araç lastiklerinin kendiliğinden tutuşma olasılıkları yoktur. 330–350°C sıcaklıkta sürdürülebilir bir tutuşma gerçekleşebilir. Tutuşan lastik 650°C sıcaklıkta tamamen yanar ve kül ve cüruf bırakır. Araç lastiklerinin kendinden tutuşma olasılıkları olamasa da belli bir nedenden dolayı başlayan atık lastik yangını söndürmek çok güçtür [9].

3.2 Potansiyel Çevresel Riskler

Lastiklerden Kaynaklanan Çevresel Riskler

Ekotoksik ve sızıntı yöntemleri kullanılarak atık lastiklerin çevreye olan etkilerini analiz eden çalışmalar yapılmıştır [9].

Ekotoksisite:

ISO lastik kaplamadan toz halinde çıkan kauçuk ile ilgili standart test yöntemlerini kullanarak çeşitli testler yapmıştır. 1995'te Lille Pasteur Enstitüsü'nde ve 1996'da Lyon Pasteur Enstitüsü'nde yapılan ekotoksik testlerin sonuçları lastiğin oldukça kararlı ve toksik etkisnin düşük olduğunu ortaya koymaktadır [9].

Sızıntı:

ABD'deki Lastik Üreticileri Birliği (RMA)'nin isteği üzerine Radiant Corporation tarafından Environmental (EPA) yöntemleri kullanılarak çalışmalar yapılmış ve parçalanmış lastiklerle etkileşimde olan içme sularında herhangi bir kirlilik tespit edilmemiştir [9].

1989'da Minnesota Kirliliği Kontrol Ajansı (MPCA) tarafından parçalanmış atık lastik deposu ve stok yığın sahasında çalışmalar yürütülmüştür. Bu alanların iki çıkışından toprak ve yer altı suyu numuneleri alınıp analiz edilerek laboratuvar sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır Çalışmada elde edilen sonuçlar [9]:

— Asidik solüsyonlara maruz kalan lastik numuneleri, nötr ya da bazik solüsyonlara maruz kalanlarla karşılaştırıldığında daha yüksek konsantrasyonlarda metal sızdırırlar.

— Nötr solüsyonlarda (pH=7), lastik numuneleri hiçbir kirletici sızdırmamıştır.

— PH 3.5'a maruz kalan numuneler Minesota Sağlık Bakanlığı tarafından izin verilebilir sızıntı suyu limitlerini aşan metal konsantrasyonları üretmiştir.

— Baryum, kadmiyum, krom, kurşun, selenyum ve çinko konsantrasyonları yüksek olan metallerdir.

— Parçalanmış lastiklerin depolandığı sahalardan alınan toprak numuneleri, tabi alanlardan alınan toprak numuneleriyle karşılaştırıldığında kirlilik gözlemlenmemiştir.

1997'de Maine Üniversitesi Çevre ve İnşaat Mühendisliği tarafından yürütülen çalışmada içme suyu ile temas halinde bulunan atık lastik parçaçıklarının içme suyu standartlarında bir bozulmaya neden olmadığı ortaya konmuştur [10]. Sonuç olarak asidik ve bazik olmayan koşullarda herhangi bir kirlilik tespit edilmemiştir.

Yönetimi Olmayan Lastiklerin Potansiyel Riskleri

Açık havada yakılmasından kaynaklanan risk;

Kararlı yapıları ile toksik etki göstermeyen atık lastiklerin açık havada kontrolsüzce yakılmaları hava, su ve toprak kirliliğini olumsuz yönden etkilemektedir. Bunun nedeni yanma sırasında siyah duman, uçucu organik birleşenler, dioxinler ve karbonmonoksit, mono ve poliaromatik hidro-karbon (PAH) ortaya çıkmasıdır. Fenoller, poliaromatik hidrokarbonlar, çinko ve demir içeren metaller yeraltı sularına ve nehirlere sızma olasılıkları vardır. Ayrıca yanma kalıntıları flora ve fauna için zararlıdır [9].

Yönetimi olmayan stok yığınlarından kaynaklanan risk;

Depo halindeki lastiklerin arasındaki boşluklar yağmur suyunu tutarak, belirli iklim koşullarında insanların hasta olmasını sağlayacak sivrisinekler ve böcekler için uygun ortam sağlar. Bununla birlikte yığın halindeki atık lastikler harici bir tutuşma ile söndürülmesi imkansız çok büyük yangınlara neden olabilirler.

3.3 Farklı Kategorilerde Kullanılmış Lastiklerin Tanımlanması

Bir lastiğin kullanım ve kullanım sonrası geçirdiği evreler **Şekil 3.1** 'de gösterilmiştir. Kullanılmış lastikler ya hiçbir işlem görmeden ya da kaplanarak tekrar kullanılmaktadır. Atık lastik kullanımında ülkeler arası farklar vardır. Bazı ülkeler

yeniden kullanılabilecek yada kaplanabilecek lastiklerin ithalatına izin verirken ve ülkeler izin vermez. Ülkemizde ise hertürlü kullanılmış lastiğin ithalatı yasaklanmıştır [11].

*Tekrar sadece kamyon lastikleri için

** Kullanım ömrü sona ermiş

Kısmen yıpranmış bir lastik için aşağıdaki durumlar söz konusu olabilir [9].

a) Lastik diş dibi derinliği l,6mm (TWI=Taban aşınma indeksi) oluncaya kadar güvenle kullanılabilir. Diş deriniliği l,6mm'den büyük olan lastikler kısmen aşınmış lastikler olarak tanımlanırlar ve bunların ticareti serbesttir.

b) Lastiğin gövde yapısında bir kusur yoksa tabanı aşınmış olsa bile tekrardan kaplama işlemi uygulanabilir. Lastiğin tekrar kaplanabilmesi ve kullanılması için çeşitli şartlar ve kriterler konulmuştur. Genellikle kaplama işlemi kamyon lastiklerine yapılmaktadır.

c) Mevcut durumu ile kullanılamayan ve tekrardan kaplama işlemi gerçekleştirilemeyecek olan lastikler atık lastikler olarak değerlendirilirler..

3.4 Kısmen Yıpranmış Lastiklerin Yönetimi

Kullanılmış lastiğin ömrünü uzatmak için iki farklı işlem yapılmaktadır.

— Tekrar diş açma

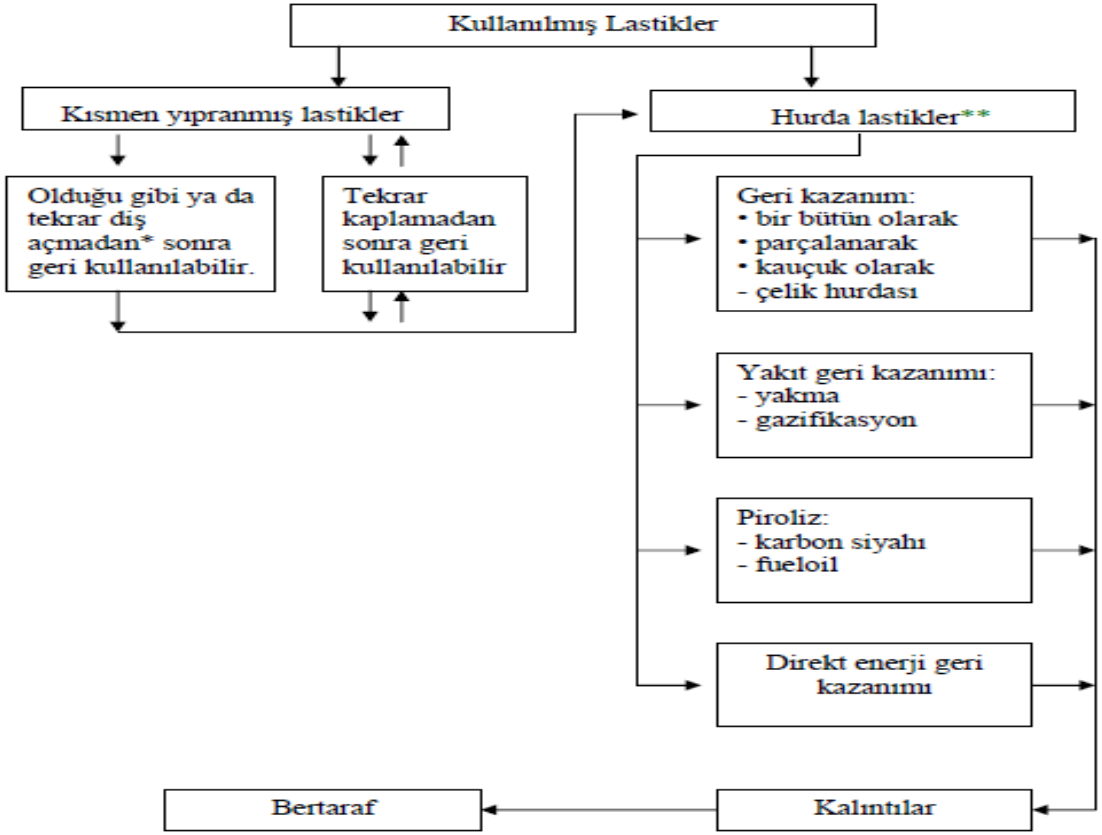
— Tekrar kaplama

Tekrar Diş Açma

Bu yöntem kamyon lastikleri için uygulanan bir yöntemdir ve araba lastikleri için uygun değildir bunun nedeni de araba lastiklerinin diş dibi deriniliği tekrar açma yöntemi için yeterli değildir.

Tekrar Kaplama

Özelliklerini kaybetmeyen lastiklerin taban desenlerinin yeniden işlenmesi işlemine tekrar kaplama yöntemi denir. Bu yöntem lastiklerin kullanım süresini uzatır . Yöntem de orijinal malzemenin %80 yeniden kullanılmaktadır. Zarar görmemiş araba ve kamyon lastikleri yeniden kaplama şirketleri tarafından satın alınır ve orijinal malzemeden kalan bütün dişler traşlanma işlemi ile yok edilerek yeni patentli



Şekil 3.1: Kullanılmış Lastiğin Geçirdiği Evreler [9]

bir diş kaplama yapılır. OECD ülkelerinde lastiklerin tekrardan kaplama işlemi oldukça yaygındır. Lastiklerin yeniden kaplama işleminde, pişirme işlemi sırasında uygulanan sıcaklıklara göre iki farklı yöntem kullanılmaktadır [9].

— Sıcak kaplama,

— Soğuk kaplama

Tekrar kaplanmış lastikler güvenlik ve performans standartları bakımından yeni lastiklerle aynı özelliklere sahiptir .Lastiklerin tekrardan kaplama yöntemi ile kullanıma kazandırılması sadece atık lastik depolarındaki yığılmanın azalması değil birçok avantajı da beraberinde getirir. Üretilecek yeni lastikler için kullanılacak yağ korunmuş olup hem üretici hem de satıcı için ekonomik faydalar sağlar. Tekrardan kaplama yöntemi ile kulllanıma kazandırılan lastikler yeni lastiklerle karşılaştırıldıklarında aynı mesafe yolu kat edebilirlerken maliyet açısından %50 daha ucuzdurlar.

ABD'de 1900'ün üzerinde lastik kaplamacı bulunmaktadır. Araba lastiklerindeki

tekrardan kaplama oranlarının düşmesi , yeni lastiklerin ucuz ve daha güvenli olmaları bu sayıyı günden güne düşürmektedir [12].

3.5 Hurda Lastiklerin Yönetimi

Atık lastik yönetimi temel olarak yerel ekonomik ve endüstriyel koşullara bağlı olmakla birlikte aşağıdaki yöntemler genellikle kullanılmaktadır [13].

— Yeniden kullanım (product recycling/reuse)

— Malzeme geri kazanımı (material recycling)

— Enerji kazanımı (energy recovery)

— Depolama (landfill)

Yeniden Kullanım

Lastiklerin çoğu tırtıklarının tamamı aşınmadan kullanımdan kalkmaktadır. Bunlar toplanıp lastik depolarına taşınarak tekrardan lastik piyasasına satış için sunulabilirler. Lastiklerin tekrar kullanılabilcek durumda olanların ayrılması atık lastik depolarına gidecek lastik miktarını %5-10 arasında azaltmaktadır. Kullanım ömrü sona ermiş olan lastikler bir bütün olarak yada parçalanmış yada belli bir

formda kalıplara sokulmuş olarak malzeme karakteristiklerinden, sönümleme özelliklerinden şekillerinden vs yaralanarak çeşitli uygulamalarda kullanılırlar.

Örneklendirmek istersek lastikler genellikle bütün olarak yapay kayalıkların , deniz duvalarının , erezyon bariyerlerinin ve dalga kıranların yapılmasında kullanılırlar.

Aşağıda hurdalastiklerin bütün, kesilmiş ya da kalıba sokulmuş olarak bazı kullanım alanları sıralanmıştır;

— İnşaat Mühendisliği uygulamalarında (otoyollarda emniyet bariyeri, ses tutucu bariyer vb, ASTM D 6270–98 B)

— Limanlarda bariyer ve dalgakıran yapımında

— İnşaat temellerinde yalıtım malzemesi ve yol dolgularında

— Eğimli arazilerde teras yapımında

— Depolama alanlarının yapımında kaplama malzemesi olarak

— Spor alanlarında, tartan pist, tenis kortu

— Termoplastik ve lastik karışımlarında

Malzeme Geri Kazanımı

Parçalama:

Hurda lastikler taşıma işlemlerini kolaylaştırmak, öğütme işlemenin başlangıcı ya da bazı uygulamalar için parçalanırlar. Lastikler parçalayıcıdan geçirilir ve genelikle tekstil ve çelik bileşenleri ayrılmaz bunlar ek bir malzeme ayrım sürecinde ayrılabilirler. Birçok ülke atık lastik depolarındaki alan daralamasını önlemek amacıyla lastiklerin parçalanmış halde depolanmasını istemektedir.

Granüle etme:

Kullanımı sona ermiş lastikleri granüle etmek için iki metot vardır [9].

— Çevre sıcaklığında öğütme (ambient method) : Kullanımı sona eren lastikler parçalandıktan sonra ögütme değirmeninin içine doğru doğru beslenirler. Öğütme işleminde sonra sonra malzeme kauçuk granülü tekstil ve çelik olarak ayrılır. Malzeme ayrımından elde edilen kauçuk granülü farklı dane büyüklüklerinde elekten geçirilir. Tekrar kaplanmış lastik imalat işlemlerinden elde edilen kabuklar ve

perdahlar öğütülür ve elde edilen kauçuk direk olarak yeni, tekrar kaplanmış lastikler üretmek için kullanılan bileşikler olarak geri kazanılabilir.

— Çok düşük derecede öğütme (cryogenic method): Bu işlemde kullanımı sona ermiş lastik ve kauçuk granülü donma noktasının altında soğutulmaktadır. Bu işlem ile lastiklerin öğütülmesi çok yaygın değildir. Soğuk lastik parçaları, - 1000°C'de azotun ilavesiyle kolay kırılgan hale getirilerek üretilir ve daha sonra çekiçli değirmenle ezilerek lastik içindeki kauçuk, tekstil ve çelik parçalanır. Bu işlem liflerin, metalin ve kauçuğun hızlı ayırımına olanak verir. Üretilen her 1 kg lastik için 0.51kg azot ilavesi gerekmektedir ve azot ilavesi pahalıdır. Bu işlem değerli materyallerin yapımında kullanılacak düzgün parça kauçuk üretir.

Rejenere kauçuk üretimi:

Rejenere kauçuk parçalanarak boyutları küçültülmüş lastik, yağ, su ve kimyasallardan oluşan bir kimyasal işlem ile üretilir. Son bileşik son ürün ihtiyaçlarına göre katkı maddelerin katıldığı ileri bir termo mekanik işleme verilir. Malzeme kalın parçalara preslenir, kesilir ve taşınmak üzere sarılır. Yeni bileşiklerle karıştırılmış rejenere kauçuk kalıplanmış levhaların geniş bir aralığında kullanılabilir.

Piroliz:

Piroliz organik bileşiklerin tümünü tamamen ya da kısmi oksijen yokluğunda ısıtma ile kimyasal dönüşümüdür. Kullanılmış lastiklerin pirolizi ile karbon siyahı, yağ (tasfiye edilmesi gerekir) ve hurda çelik elde edilebilir. Piroliz sonucu oluşan yağ yakıt olarak, karbon ise güçlendirici dolgu malzemesi ya da aktif karbon olarak kullanılabilir.

Enerji Geri Kazanımı:

Kullanılmış lastikler fosil yakıtlar dışında ek bir yakıt olarak kullanılırlar. Kullanılmış lastiklerden elde edilen enerji kömürden elde edilen enerjinin aynısıdır. Bütün ya da parçalanmış kullanılmış lastikler buhar, elektrik, çimento, kireç, kâğıt, çelik üretiminde ve çöp yakma tesislerinde asıl ya da ikincil yakıt olarak kullanılabilirler. Ömrünü tamamlamış atık lastiklerin toplanıp defolanması çevre bakımından çok önemlidir. Eğer uygun emisyon kontrol sistemleri kurulur ve bunları düzenli işletimi yapılırsa sülfür oksit ya da nitrojen oksitler atmosfere salınmaz. Çimento fabrikalarında kullanım, klinker içinde doğrudan kullanılabilmesi ve önemli

bir enerji tasarrufu sağlaması nedeniyle tüm dünyada en yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Kömürle birlikte ikincil yakıt olarak atık lastiklerin kullanıldığı çimento fabrikalarındaki emisyon değerlerinde iyileşmeler gözlenmiştir. Çimento fabrikalarında atık lastik kullanımının en büyük zorluğu lastiklerin toplanarak fabrikalara lojistiğinin sürekli bir şekilde yapılması işlemidir. Lastik Üreticileri Teknik Komitesi (LÜTEK) ülkemizde de atık lastiklerin çimeto fabrikalarında değerlendirilmesi konusunda çeşitli çalışmalar yapmıştır. Çevre Bakanlığı da "Çimento Fabrikalarında Atıkların Alternatif veya Ek Yakıt Olarak Kullanımlarında Uyulacak Genel Kurallar" hakkında tebliğ hazırlamıştır. Hurda lastikten enerji geri kazanınım yaygın beş metotu vardır [11].

Çimento fırınları:

Atık lastikler alternatif bir enerji kaynağı olarak çimento fırınlarında kullanılabilirler. Fırındaki yüksek işletme sıcaklığı lastiklerin tam yanmasına ve fırın çalışmasını kötü bir şekilde etkilemeden çelik kordonlarının oksidasyonuna olanak verir. Bu yüksek işletme sıcaklığından dolayı lastiklerdeki çelik takviyesinin çıkarılmasına gerek duyulmaz.

Avrupa, Kanada, Japonya ve Amerika'daki birçok işletmede bütün veya parçalanmış lastiklerin yakıt olarak kullanımı ile ilgili kayıtlar mevcuttur. Çimento üretimi için 1500°C (2600 °F) sıcaklık gereklidir. Çimento ocaklarında atık lastiklerin alternatif yakıt olarak kullanılması coğrafi şartlar bakımından da çok elverişlidir çünkü hem çimento fabrikaları hem de atık lastik depo alanları yerleşim merkezlerinin dışında konumlandırılmışlardır [9].

Kireç fırınları:

Kullanılmış lastikler CaCO3'ün kalsinasyonunda kullanılan fırınlarda tek başına ya da diğer malzemelerle (ör, tahta, kağıt) beraber kullanılabilirler. Kireç fırınının işletilmesi ve faaliyetleri çimento fırınlarınkinden daha basittir ama yakacağın tipi elde edilen CaC03'ün kalitesini büyük ölçüde etkiler.

Buhar üretimi:

Buhar geri kazanımıyla kontrollü yakma başlıca lastik ve tekrar kaplama endüstrilerinde kullanılır. Üretilen buhar tesis içinde farklı endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir, ör, kauçuk endüstrisinde, buhar vulkanizasyon işleminde kullanılır.

Elektrik gücü üretimi:

Bazı elektrik gücü tesisleri maliyetleri azaltmak için atık lastik kullanarak enerji üretimi sağlayan tasarımlar geliştirmişlerdir.Bu tesislerde hareketli ızgaralar vardır ve yanma işlemi sırasında atık lastikler bu ızgaraların üzerinde ilerler. Bu durum lastiklerin aşağısından ve yukarısından hava akışını sağlar bu da ızgarayı soğuk tutarak yanmaya yardım eder. Izgara cüruf vekülün, saha dışına çıkması için hunilerden taşıyıcı sisteme geçmesine olanak verir. Metal meydana çıkarma sistemi lastik kordonlu lastiklerin yanmasını reddeder. Her yakıcının kendi kazanı vardır. Kazan, buhar türbin jeneratörünü çalıştırmak için buhar üretir.

Atık yakma:

Kullanılmış lastikleri evsel atıklarla karıştırarak küçük miktarlarda yakma tasarım karakteristiklerinin izin verildiği yerlerde uygulama yapılabilir. Fırındaki lastik ağırlığının toplam ağırlığa oranının %10'dan fazla olmaması halinde yanma kötü birşekilde etkilenmez. Evsel atığın net kalorifik değerindeki düşmeleri lastikler dengeler. Atığın kalorifik değerinin ortalamadan yüksek olduğu zamanlar, fırınsıcaklığı optimumun üzerine çıkınca lastik ilave edilmemelidir.

Düzenli Depolama ve Stoklama:

Düzenli depolama;

Düzenli depolama başvurulması gereken en son yöntemdir. Diğer yöntemler uygulanmadığı zaman bu yöntem tercih edilmektedir. Bazı ülkelerde kullanılmış lastiklerin depolanması yasaklanmıştır.

Halen EC ülkelerinde lastiğin olduğu gibi depolanmasına 2003 yılma kadar izin verilmiştir. 2003 yılından sonra ancak parçalandıktan elendikten sonra depolanabilecektir.

2006 yılından sonra atık lastiklerin depolanması kesinlikle yasaktır. Bu nedenle son yıllarda geri kazananla ilgili çalışmalar artmıştır. Avrupa Komisyonu, 2000 yılı için atık lastiklerin en az %65'inin geri kazanılmasını veya enerji üretiminde kullanılmasını öngörmüştür.

Lastikler kıyı şeridi erezyonu önlemek, drenaj borularını korumak ve depo sahasından sızan sıvı ve gazlarındüzenli akışına olanak vermek için etkili bir şekilde kullanılabilirler.

Depo sahalarında kullanılmış lastiklerin boşaltımının avantajları arasında düşük yatırım, işletme maliyetleri, yönetim kolaylığı ve daha iyi depolama için kullanılmış lastiklerin kullanım olanağı sayılabilir [9].

Stoklama;

Atık lastiklerin stoklanması işlemi beraberinde birçok diğer işlemide birlikte getirir. Taşıma, yerleştirme yangın önlemleri gibi çeşitli yatırımlar gerekmektedir. Hurda lastikleri depolama işlemi sorunsuz bir şekilde yürütülürse bu işlem sadece atık lastikleri geri kazandırmaya götürmeden önce yapılır.

Lastik depolaması sonucu oluşabilecek hava, su ve toprak kirliliği;

Lastiklerin kontrollü veya kontrolsüz şekilde depolanmalarından dolayı ortaya çıkabilecek yangınlar çevrede hava, su ve toprak kirliliğine yol açarlar (Basel Convention, 1999).

Hava Kirliliği:

Atık lastiklerin yanması sonucu CO2, su buharı ve mert kalıntıları gibi ürünler oluşur. Lastiklerin açık havada yanmasından dolayı çok sayısıda zehirli madde çevreye yayılır.

Çok sayıda zararlı madde çevreye yayılır. Stoklama esnasında yangın çıkmasını etkileyen çeşitli faktörler arasında lastik tipi, yanma oranı, yığın boyutu, çevre sıcaklığı ve nem sayılabilir. En yüksek yoğunlaşması olanlar CO2, CO ve SO2'dir. Bunlardan başka dioxinler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve fenoller verilebilir. Fenoller, polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve çinko ve demir içerenmetaller yer altı suyuna ve nehirlere sızabilirler.

Birçok lastik deneme yakışlarıyla karakterize edilmiştir, kül (karbon, çinko oksit, titanyum dioksit, silikon dioksitler gibi), sülfür bileşikleri, genelde yağ akışında rastlanan polinükleer aromatik hidrokarbonlar, aromatik naftenik ve parafinik yağlar, karbon ve nitrojen oksitleri, partiküller ve toluen, ksilen, benzen gibi elementleri içeren çeşitli hidrokarbonlar içermektedirler. Hidrokarbonik ürünleri içeren bütün yangınlarda olduğu gibi, en büyük tehdidi karbon monoksit ve sülfür oksitler oluştururlar.

Su kirliliği:

Kauçuğun tamamlanmamış yanması, yangın suyuyla söndürüldüğünde suyla taşınan çeşitli kimyasal bileşimlerin parçalarının tekrar birleşmesinin takip ettiği pirolitik bozunmaya sebep olur. Bu şartlar altında her zaman kadmiyum ve kurşunun izlerini taşıyan çinko tuzları gibi, yanma kalıntılarının belirli bileşimleri için de geçerlidir. Bu maddeler flora ve faunaya zararlı olabilir, bu yüzden su ortamına zarar vermemeleri için yangını söndürmede kullanılan su içinde verimli bir şekilde seyreltilirler. Aksi takdirde, bertaraf etmeden önce suyun arıtılması gerekir.

Toprak kirliliği:

Bir yangından sonra bir yıl boyunca saha üzerinde kalan kalıntılar iki farklı şekilde toprak kirliliğine yol açarlar.

— Bir an süren kirlenme sıvı bozunmasının ürünlerinin toprağın son tabakasının geçirimli olduğu durumlarda, toprağın içine işlemesiyle oluşur.

— Aşamalı kirlenme yağmur suyu ve başka su girişlerinden sonra kül ve yanmamışkalıntıların sızması yoluyla meydana gelir. Önceki bölümden bilinen bileşenler tekrargözükür.

4. ATIK LASTİK KATKILI ASFALT

Bu bölümde ise öncelikle atık lastik katkılı asfaltın tanımlanması, tarihi, üretimi, kullanımı, faydaları gibi temel bilgiler verilmektedir. Bu temel bilgilerden sonra İSFALT A.Ş. tarafından 2010 yılında yapılan deneysel laboratuvar çalışması sonuçları ile atık lastik katkılı asfalt ile geleneksel asfalt betonunun performansı karşılaştırılmaktadır. Atık lastik katkılı asfaltın gürültü sönümlemedeki etkilerini daha iyi analiz etmek için agrega boyutu, agrega tipi, yaşlanma, doku, modifiyeli ve modifiyesiz bağlayacılar, yüzey tipi, rijitlik, kalınlık, sıcaklık, hava boşluk yüzdesi gibi kaplama tasarım faktörlerinin gürültü sönümlemedeki etkileri literatürdeki çalışmalar taranarak aktarılmaktadır. Bölümün sonunda ise atık lastik katkılı asfaltın gürültü sönümlemedeki etkilerini laboratuvar ortamında dış etkilerden bağımsız olarak kontrollü bir şekilde analiz eden Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu tarafından standartlaştırılmış empedans tüpü deneyi (ASTM E1050) sonuçları ile verilmektedir.

4.1 Atık Lastik Katkılı Asfaltla ilgili Temel Bilgiler

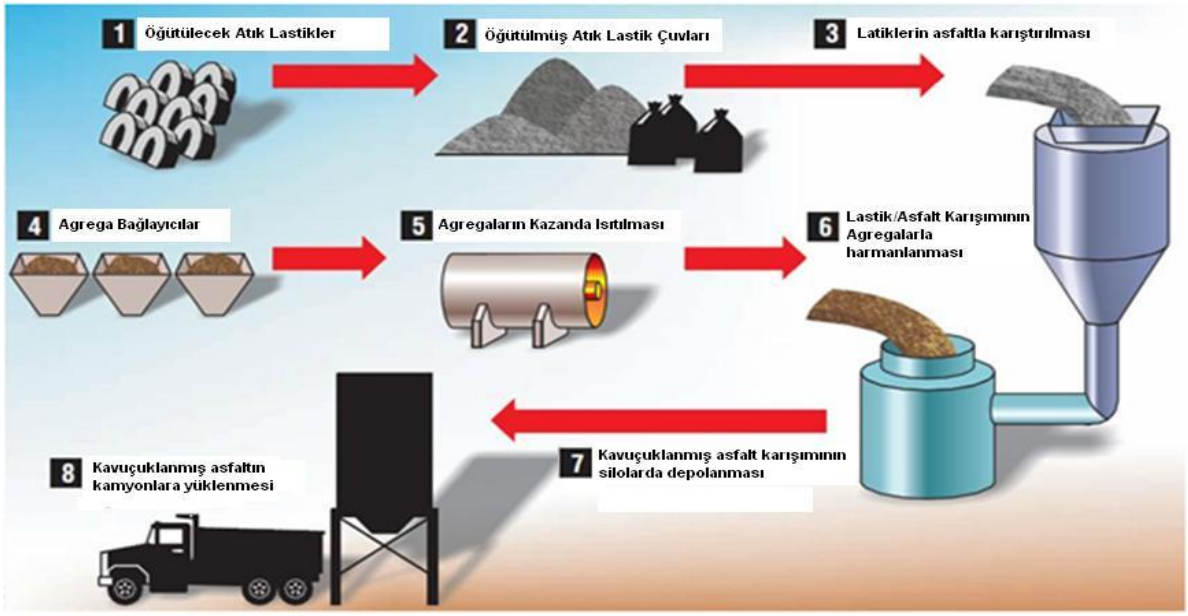
4.1.1 Asfaltın tanımı

Asfalt, güçlü bir bağlayıcı, yapışkan, su geçirmez ve dayanıklı bir malzeme olup, genellikle bir araya getirildiği mineral agrega karışımlarına kontrol edilebilir esneklik sağlayan plastik bir maddedir. Sıcak asfalt karışımı, asfalt çimentosu ve bu bağlayıcı ile homojen şeklinde karıştırılmış agrega birleşiminden oluşmaktadır. Agregalar ile asfalt, istenilen düzeyde bir kaplama karışımı elde etmek amacıyla ilgili tüm bileşen malzemelerin ısıtıldığı, oranlandığı ve karıştırıldığı bir karışım tesisinde (plent) bir araya getirilmektedir. Karışım süresi tamamlandıktan sonra, sıcak karışım kaplama alanına taşınmakta ve homojen, düzgün bir yüzeye, hafifçe sıkıştırılmış halde bir kaplama makinası (finişer) yardımıyla serilmektedir.

Karışım hala sıcak durumda iken, iyi konsolide olmuş bir kaplama tabakası elde etmek amacıyla, ağır motorlu silindirler ile sıkıştırılmaktadır [14].

4.1.2 Atık lastik katkılı asfaltın tanımı

Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu "ASTM"(American Society of Testing and Materials) tanımlarına göre atık lastık katkılı asfalt toplam asfalt karışımının en az %15 oranında geri dönüştürülmüş lastik , asfalt betonu ve diğer katkı maddelerinden oluşan bir karışımdır [14].



Şekil 4.1: Atık Lastik Katkılı Asfalt Üretimi [14]

4.1.3 Atık lastik katkılı asfaltın tarihi

Asfalt kaplama malzemesi olarak geri kazanılmış lastiklerin eklenmesinin tarihi 1940 ‘larda U.S. Rubber Reclaiming Company’nin Ramflex adını verdiği kuru ve asfalt kaplama karşımına eklenebilen geri kazanılmış lastik ürünün pazarlamasına başlamasına kadar uzanmaktadır.

1960’ların ortalarında Charles Mcdonald parçalanmış kauçuk kullanarak modifiye asfalt bağlayıcısı geliştirmeye başladı. Bu ürün Overflex adında Sahuora Petroleum ve Asphalt Company tarafından pazarlanmaya başlandı.

1970’lerin ortalarında The Arizona Refining Company Inc. parçalanmış kauçuk kısmını geri kazanılmış kauçuk ile değiştirdiği ve Arm-R-Shield adı altında pazarlamaya başladığı bir modifiye bağlayıcı bulmuştu.

Hem Both Overflex hem de Arm-R-shield patentli ve tek mülkiyet altında ürünler haline geldiler. 1980'lerin ortasında iki şirket Asphalt Rubber Producer Group adında ortak ticari ortaklık kurdular.

Ramflex pazardan ana ticari şirketinin U.S. Rubber Reclaiming Company'ye satılması ile kayboldu.

Birleşik Devletlerle ek olarak İsveç' de atık lastik katkılı asfalt gelişiminde çok önemli katkılar yapmıştır. 1960'larda iki İsveç firması zincir ve çivili lastiklere dayanımlı asfalt kaplama karşımı geliştirmeye başlamışlardır.

Karşıma Rubit adında agrega gibi küçük bir miktar parçalanmış kauçuk eklenmiştir.

1970'lerin sonunda bu ürün PlusRide adında Birleşik Devletlerde tanıtıldı ve patentlendi. 1979'dan 1985' e kadar Alaska ve diğer eyaletlerde bir dizi saha projesi ile geliştirilmiştir.

PlusRide birçok firma tarafından kullanıldı ve Envirotire tarafından da pazarlandı.

Son yıllarda dünya çapında depo halindeki kullanılmış lastiklerin kullanılması yönünde önemli bir artış var.

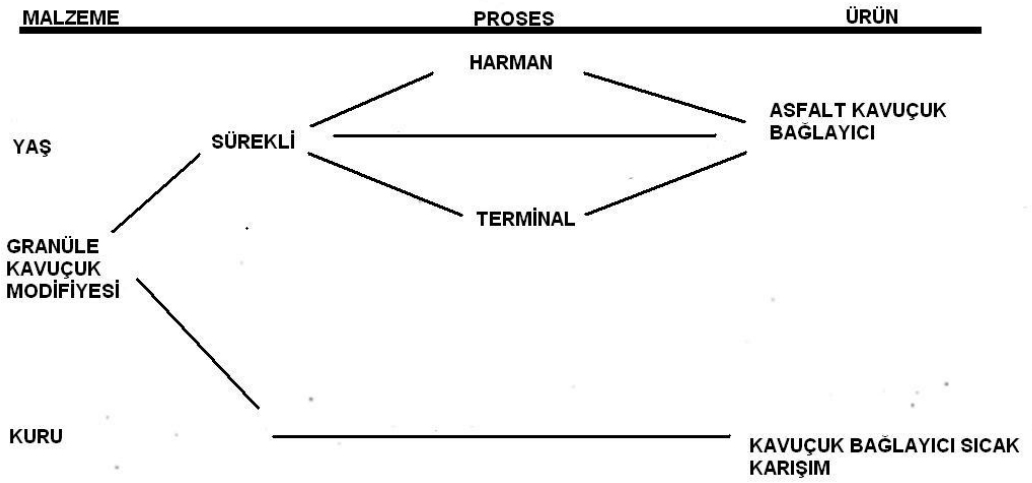
Bu öncelikle teknolojinin gelişmesine ve kullanılmış lastiklerin azalma ve kullanımına bağlı yararların gerçekleşmesine bağlıdır.

Dünya çapında biriken lastik sayısının artması nedeni ile ve buna bağlı çevresel tehlikeler ile birçok ulus bu büyük kaynağı başka yollar için kullanmanın çarelerini aramaktadırlar [15].

4.1.4 Atık lastik katkılı asfaltın üretimi

Florida Ulaştırma Bölümü (FDOT) tarafından gerçekleştirilen proje sonuçlarına göre; öğütülmüş lastik atıklarını sıcak asfalt karışımlarında kullanmanın 2 yolu vardır. Yaş işlemde; % 18-26 oranında lastik kauçuğu 375-425 °F sıcaklıkta asfalta karıştırılmakta ve sıcak asfalt karışımlarında kullanılabilecek bir bağlayıcı elde edilmektedir. Yaş işlem için gerekli görülen fiziksel özellikler ASTM 6114 tarafından sıralanmıştır. Bu karıştırma metotu 3 farklı kategoriye ayrılır : Harman tipi karışım, sürekli tipi karışım ve terminal tipi karışım. Kuru işlemde ise; öğütülmüş lastik kauçuğu, agrega ağırlığının % 1-2 oranında olacak şekilde agregaya ilave edilmekte ve asfalt karışımı hazırlanmaktadır. Bu 2 işlem arasındaki esas fark, kuru

işlemdeki kauçuk boyutunun daha iri olması, yaş işleme göre 2-4 kat daha fazla kauçuk kullanılması ve kauçuğun işlemde üstlendiği görevdir. Kuru işlemde kauçuk agrega görevini üstlenirken, yaş işlemde bağlayıcı görevi yapmaktadır [14].



Şekil 4.2: Granüle Lastik Asfaltın Üretimindeki Yaş ve Kuru İşlem [15]

4.1.5 Atık lastik katkılı asfaltın kullanımı

Atık lastik katkılı asfalt genellikle birçok farklı asfalt kaplama tipinde sıcak karışım ve yüzey bakımını kapsayan bağlayacı olarak kullanılırken bunun yanında çatlakların giderilmesi için de kullanılmaktadır.

Atık lastik katkılı asfalt genellikle süreksiz granülometrili (gap-graded) agregalar ya da açık granülometrili (open-graded) agregalar ile kullanılır. Atık lastik katkılı asfaltlar gerilme sönümleyeci ara tabaka (stress absorbing membrane-SAMI) olarak da kullanılır. Sıcaklık atık lastik katkılı asfalt karışımlarının sıkıştırılmasında çok önemlidir bunun nedeni atık lastik katkılı asfalt karışımın normal asfalt betonuna göre daha sert olması ve sıkıştırma işlemi için yüksek sıcaklık değerlerinin gerekliliğidir.

Atık Lastik Katkılı Asfalt geleneksel asfalt betonun kullanıldığı heryerde kullanılabililirken kaplamanın kullanımı önemli ölçüde değiştiren faktör sıcaklıktır. Atık lastik katılı asfalt, yağışlı günlerde, hava sıcaklığının 13°C altında olduğu sıcaklıklarda, kaplama üzerinde 12mm'den geniş bir çok çatlak bulunduğunda ve atık lastik katkılı asfalt karışım plenti ile kaplamanın uygulanacağı yer arasında uzun

mesafeler olması karışımın sıcaklığını düşüreceği bunun da sıkıştırma ve yerleştirme işlemlerini zorlaştıracağı durumlarda kullanılmamaktadır.

Atık lastik katkılı asfalt kullanışlı bir malzeme olması yanında her türlü asfalt kaplama tipi için bir çözüm değildir. Atık lastik katkılı asfalt malzemeleri özenle seçilir, tasarlanır, üretilir ve kaplamanın performansını arttırmak için inşa edilirler. Büyük çaplı projelerde atık lastik katkılı asfalt kullanımı lojistik maliyetini arttırken bu maliyet artımı kaplamanın servis süresinin uzaması ve bakım maliyetlerinin düşmesi ile dengelenirken ufak ölçekli projelerde lojistik maliyetinin aynı oranlarda kalması bu tip projelerde kullanımını sınırlandırmaktadır. Atık lastik katkılı asfalt yoğun granülometrili (dense-graded) agrega kullanımı için uygun değildir. Bunun nedeni bağlayacı içeriğinin yoğun granülometrili agregalar için yeterli performans verememesidir. Diğer bir sınırlandırıcı etki ise atık lastik katkılı asfalt kaplamanın geleneksel asfalt betonuna göre daha sert olması yerleştirme ve sıkıştırma sıcaklıklarını arttırmaktadır.

Atık lastik katkılı asfalt kaplamanın malzemelerinin birim fiyatları geleneksel asfalt betonu yada polimerle modifiye edilmiş kaplamalara göre daha yüksektir. Atık lastik katkılı asfalt kaplamanın maliyeti süreksiz granülometrili (gap-graded) ve açık granülometrili (open-graded) agrega kullanılırsa uygun olur.

Birçok durumda atık lastik katkılı asfalt kullanımı asfalt beton tabakasının kalınlığını (min 30mm) düşürdüğü için başlangıç maliyetini dengeler. Atık lastik katkılı asfalt tabaka yerine gerilme sönümleyici tabaka (stress absorbing membrane SAMI) kullanımı maliyeti azaltır bunun nedeni de zamanda tasaruf edilerek kaplamanın çabuk inşa edilmesidir [15].

4.2 Atık Lastiklerin Bitümlü Sıcak Karışım Performansına Etkisi

Asfalt betonu kaplamalarının performanslarını iyileştirme çalışmalarında çok çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu katkı maddeleri endüstriyel atıklar yada endüstri kollarının yan ürünleri olabilir. Bu katkı maddelerinin herbirinin özellikleri belirli bir problemi çözebilmek için değerlendirildiğinde daha uzun ömürlü ve yüksek performanslı esnek üstyapı tasarımları elde edilebilir. Katkı maddeleri arasında yer alan kullanılmış otomobil lastikleri, bitümlü karışım performansına kazandırabilecekleri olumlu etkileri yanı sıra, çevre problemleri açısından da faydalı

sonuçlar vermektedir. Modifikasyon işlemi genel olarak, katkı maddesinin bitüme katılarak "Modifiye Bitüm" elde edilmesi veya katkı maddesinin doğrudan karışıma katılarak "Modifiye Karışım" elde edilmesi şeklinde yapılmaktadır.

Ülkemizde granül hale getirilen lastiklerin bitümlü sıcak karışıma etkisini tespit etmek amacıyla İSFALT A.Ş. tarafından laboratuvar ortamında çeşitli performans deneyleri uygulanmıştır. Bu laboratuvar çalışmaları kapsamında, karışım stabilitesinin belirlenmesi amacıyla Marshall Stabilitesi deneyi, çekme gerilmeleri ve çekme mukavemetinin belirlenmesi amacıyla Dolaylı Çekme Mukavemeti, trafik yükleri altındaki davranışlarının belirlenmesi amacıyla Tekrarlı Sünme Deneyi, basınç yükleri altındaki davranışlarının belirlenmesi amacıyla Statik Sünme Deneyi ve yorulma ömrünün tahmini ve Rijitlik modülünün belirlenmesi amacıyla Dolaylı Çekme deneyleri yapılmıştır.

2010 yılında İSFALT A.Ş. tarafından gerçekleştirilen bu deneysel çalışma sonucu otomobil lastikleri katkı maddesiyle üretilen BSK numunelerine ait deneysel değerler analiz edilerek, geleneksel karışımlarla hazırlanan numune sonuçlarıyla karşılastırılmış ve oransal olarak da birbirlerine üstünlükleri tespit edilmiştir [16].

4.2.1.1 Deneylerden elde edilen sonuçlar

İSFALT A.Ş. tarafından gerçekleştirilen bu deneysel çalışmaların sonuçlarını maddeler halinde şu şekilde özetleyebiliriz.

- Kullanılmış otomobil lastikleri katkısıyla hazırlanan karışımlar, geleneksel karışımlara göre düşük stabilite seviyesinde kalmaktadır.

- Lastik katkılı karışımların Dolaylı Çekme Mukavemeti değerleri düşük sıcaklıklarda geleneksel bitümlü sıcak karışıma göre düşük, ancak sıcaklığın yükselmesiyle birlikte bu düşüş yerini yükselişe bırakarak, geleneksel karışımlardan daha yüksek değerlere ulaşmaktadır.

- Rijitlik Modülü değerleri 5˚C ve 25˚C'de rijit sınırda kalmakla birlikte, 40˚C'de uygun bölgede görülmektedir.

- Kullanılmış otomobil lastik katkılı karışımlarla yapılan kaplamaların geleneksel karışımlarla yapılan asfalt kaplamalara göre daha elastik olduğu ve düşük sıcaklık nedeniyle meydana gelebilecek çatlak oluşumu potansiyeline karşı direnimi arttırdığı tespit edilmiştir.

- Elde edilen veriler ışığında "Kullanılmış Otomobil Lastikleri"nin bitümlü sıcak karışıma katılabilecek uygun oranın %0,5 olduğu söylenebilir.

- Kullanılmış otomobil lastik katkılı karışımların (BSK) soğuk iklimlerin hakim olduğu bölgelerde düşük ısı çatlaklarına ve tekerlek izine karşı direnç konusunda olumlu etki yapacağı anlaşılmaktadır.

- Kullanılmış otomobil lastiklerinin BSK'da kullanılmasının sıcak ve ılıman iklimlerde başta kalıcı deformasyonlar olmak üzere, stabilite ve çekme mukavemeti gibi diğer özellikler açısından geleneksel (katkısız) BSK'ya göre daha az direnim göstereceği görülmektedir [16].

4.3 Atık Lastik Katkılı Asfaltın Faydaları

Atık lastiklerin asfalt uygulamalarında kullanılmaları yalnızca atık lastik depo alanlarının azalmasına değil aynı zamanda kaplama tasarımının birçok mekanik ve fiziksel özelliklerini de geliştirmektedir. Esnek üstyapı tasarımlarında atık lastik katkılı asfalt kullanımı yansıma çatlaklarını, tekerlek izi oluşumunu, yaşlanmayı, üstyapı için servis süresi boyunca harcanacak olan bakım maliyetini, oksidasyonu ve kaplama kalınlığını azaltırken, yorulma ve kayma direncini artırmaktadır.

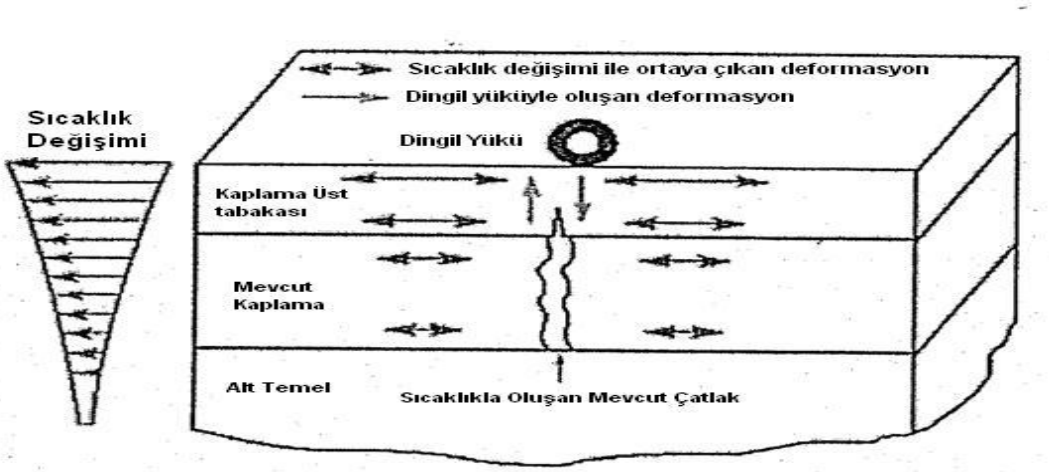
4.3.1 Yansıma çatlakları

Yansıma çatlaklarının nedenleri günlük ve mevsimler sıcaklık değişimlerime bağlı olarak meydana gelen genleşme ve büzülmelerdir. Sıcaklık farkları sonucunda oluşan gerilme ve şekil değiştirmelere ek olarak kaplama tabakalarının altında bulunan derzlerle ayrılmış hafif beton temel blokları arasında dingil yükleri sonucu oluşan düşey hareketler de kayma gerilmeleri yaratmaktadır. Bu kayma gerilmelerinin büyüklüğü kaplama ve temel tabakalarının kalınlığına, tabaka zeminin üstyapıya olan desteğine ve stabilize bloklar arasındaki kilitlenme miktarına bağlıdır.

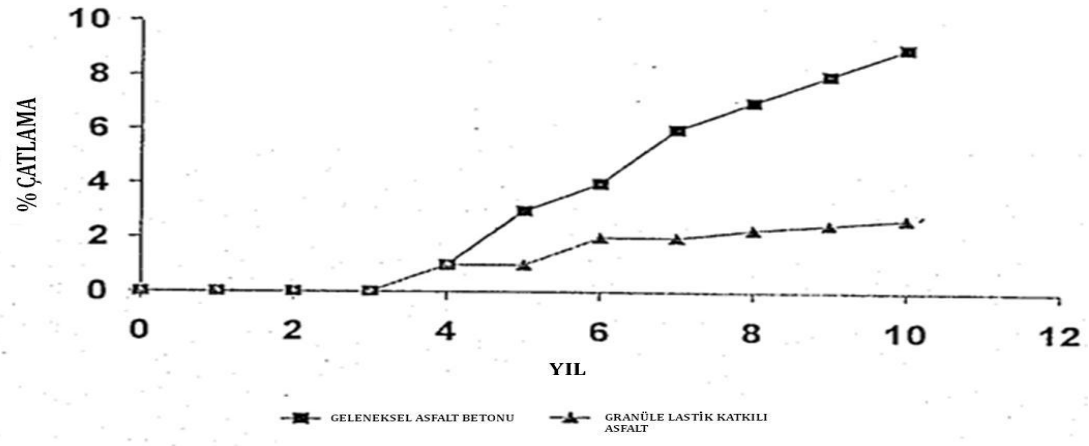
Yansıma çatlaklarını azaltmak için asfalt karışımına minimum miktarda granüle edilmiş kauçuk ilave edilmelidir. Granüle edilmiş kauçuk miktarı agrega ağırlığını %1 ya da %2' si kadar olmalıdır.

Araştırmalar atık lastik katkılı sıcak asfalt karışımının bilinen asfalt betonu kaplamasına göre termal ve yansıma çatlaklarında daha direnimli olduğunu göstermiştir. Çatlakları önlemek için gerilme sönümleyeci ara tabaka (stress

absorbing membrane SAM) kullanılır. SAM %80 asfalt çimentosu %20'de atık lastiklerden granüle edilmiş kauçuktan oluşur. SAM yapının elastikiyetni artırarak yansıma ve termal çatlaklara karşı direnç sağlar [17].



Şekil 4.3: Yansıma Çatlakları



Şekil 4.4: Arizona Ulaştırma Departmanı Tarafından 10 yıl Boyunca Kayıt Edilen Çatlak Sayısı [17]

4.3.2 Tekerlek izi oluşumu (Oluklanma)

Tekerlek izi oluşumu (oluklanma) asfalt betonu kaplamalarda görülen bozulma türlerinden biridir. Taşıt tekerleklerinin yola değme noktalarında, yol boyunca oluşan düşey kalıcı deformasyonlar olarak tanımlanır.

Ticari taşıt sayılarındaki artış, bunların dingil sistemlerinin değişmesi ve dingil ağırlıklarının artması, çift tekerlek yerine geniş tabanlı tek tekerlek kullanılması ve

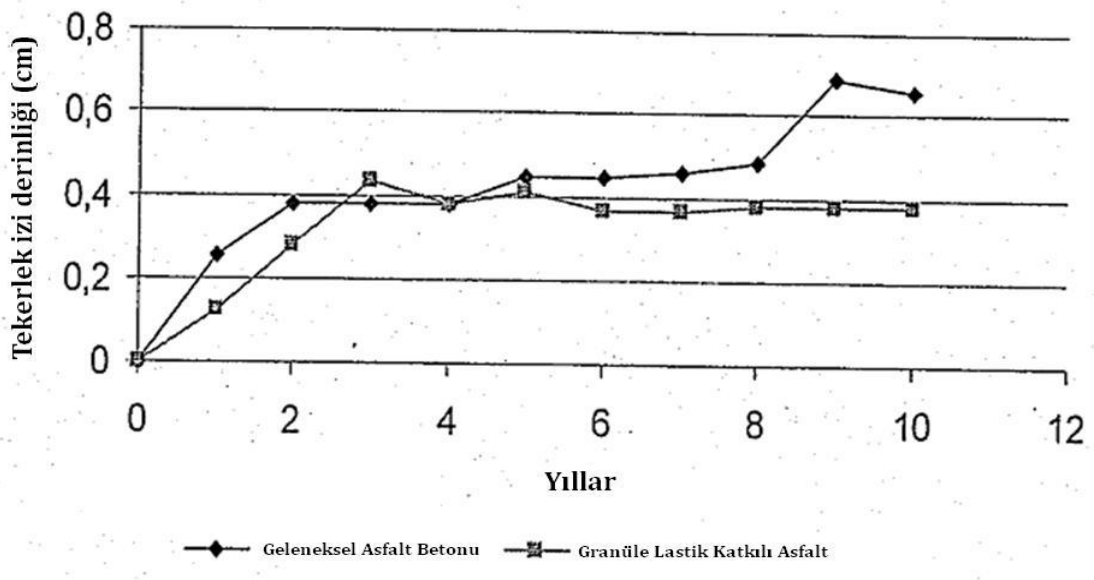
lastik iç basınçlarının artması nedenleriyle, tekerlek izi çözülmesi gereken bir sorun haline gelmiştir. Tekerlek izi oluşumuna neden olan başlıca faktörler; aşırı yükler, uzun süreli veya durağan yükler, aşırı yük tekrarı, uygun olmayan malzeme kullanımı, tasarım ve yapım hataları olarak sıralanabilir.

Yolun enine düzgünlüğünün bozulmasına neden olan tekerlek izi oluşumu, konfor ve güvenlik açısından büyük bir sorun oluşturmaktadır. Şerit değiştirme sırasında araç kontrolü zorlaşmakta, yağışlı havalarda tekerlek izi oluşmuş kısımlarda su birikmekte ve buzlanmaya veya tekerleğin su filmi üzerinde kaymasına yol açmakta, dolayısıyla fren mesafesi uzamaktadır [18].



Şekil 4.5: Tekerlek İzi Oluşumu (Oluklanma) [18]

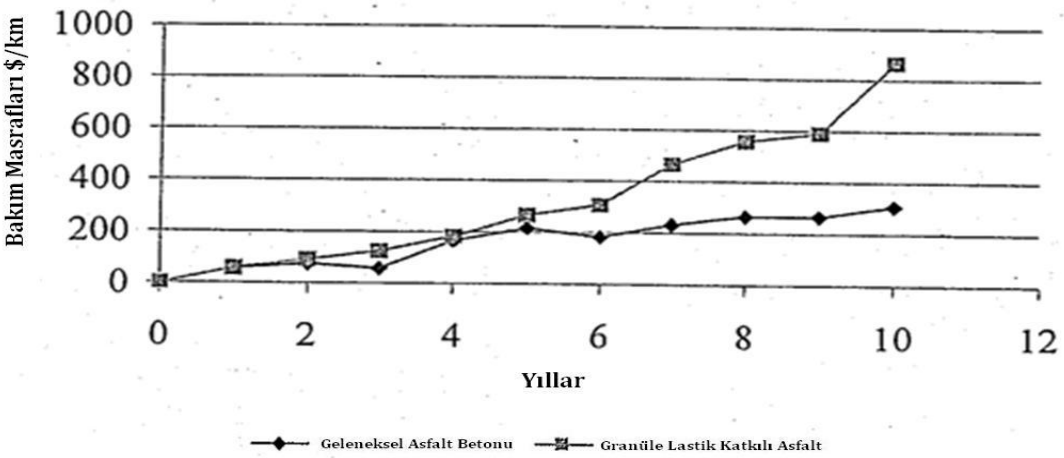
Tekerlek izi oluşumunu (oluklanmayı) azaltmak için daha sert kaplama karışımları tasarlamak gerekmektedir. Bu da genellikle seçilen agrega granülometrisin, maksiumum agrega boyutunun ve bağlayacıların farklı kombinasyonu ile olur. Son yapılan çalışmalar atık lastik granülünün asfalt bağlayacılarla karıştırılmasının tekerlek izi oluşumunu azalttığını göstermiştir.. Araştırmacılar atık lastik granülü katkılı karışımların daha elastik ve yüksek servis sıcaklıklarında tekerlek izi oluşumuna karşı daha direnimli olduklarını ortaya koymuşlardır [18].



Şekil 4.6: Arizona Ulaştırma Departmanı Tarafında 10 yıl süre ile SAM Kullanılmış ve Kullanılmamış Tabakalardaki Tekerlek İzi Oluşumunun Derinliklerinin Kayıtları [17]

4.3.3 Bakım maliyeti

Atık lastik granülü katkılı sürtünme yüzeyli kaplamaların bakım maliyetleri geleneksel asfalt betonu kaplamalarına göre yaklaşık olarak 2 katı fazladır. Gerilme sönümleyeci ara tabakalı SAMI (stress-absorbing membrane)'in bakım maliyeti metrekare başına 1.20 dolar iken geleneksel kaplamanın maliyeti ise metrekare başına 0.60 dolardır.



Şekil 4.7: Arizona Ulaştırma Departmanı Tarafında 10 yıl süre ile SAM Kullanılmış ve Kullanılmamış Tabakalardaki Bakım Maliyeti Kayıtları [17]

Geleneksel kaplamaların bakım maliyetleri atık lastik granülü katkılı kaplamalara göre zamanla artar. Arizona Ulaştırma Departmanı tarafından 10 yıl süre boyunca geleneksel ve atık lastik granülü katkılı kaplamaların bakım maliyetleri incelenmiştir. Analizler sonucu 10 yıllık periyod sonunda geleneksel kaplamaların bakım maliyeti atık lastik granülü katkılı kaplamarın 3 katı olmuştur [17].

4.3.4 Yorulma direnimi

Yorulma direnci malzemenin tekrar eden yükler altında çatlaklara karşı gösterdiği dirençtir. Kuru ya da ıslak işlem kullanılarak elde edilen atık lastik katkılı sıcak asfalt karışımlarının yorulma ömürü önemli bir ölçüde geliştirmektedir. Piggot ve Woodhams sıcak asfalt karışımlarına %5 oranında atık lastik granülü katıldığında yorulma direnimin iki katına çıktığını ortaya koymuşlardır [19]

Düşük sıcaklılarda atık lastik granülü katkılı sıcak karışımların geleneksel asfalt betonu kaplamalara göre yorulma direnimleri yüksek iken yüksek sıcaklık koşullarında bu davranış farklılık gösterir.

4.4 Atık Lastik Katkılı Asfaltın Karayolu Gürültüsünün Azaltılmasındaki Etkileri

Atık lastik katkılı asfalt kaplamanın karayollarındaki gürültüye etkilerinde hakkında birçok rapor ve makale bulunmaktadır [20].

Sahada uygulanan projelerden en çarpıcı olanı Amerika Birleşik Devletleri'nin en büyük altıncı eyaleti olan Phoenix Arizona'dakidir. Önemli ölçüde karayolu gürültüsünde azalma tespit edilmiştir. Arizona Ulaştırma Departmanı tarafından seçilmiş olan 10 mil uzunluğundaki bir karayoluna 1 inç kalınlığında atık lastik katkılı açık granülometrili (open-graded) sürtünme tabakası uygulanmış ve gürültü değerlerinde önemli bir düşüş gözlemlenmiştir.

Diğer bir çalışma ise gene Amerika Birleşik Devletleri'nin California Eyaletine bağlı Sacramento ilindeki atık lastik katkılı asfalt kaplamalı Alta Arden Expressway ile geleneksel asfalt betonu kaplamalı Bond Road'un trafik gürültüsü bakımından karşılaştırılmasını içermektedir. Bu araştırma Bollard & Brennan Inc. akustik ve gürültü kontrolü mühendisliği danışmanlığı tarafından gerçekleştirilmiştir. 6 yıllık

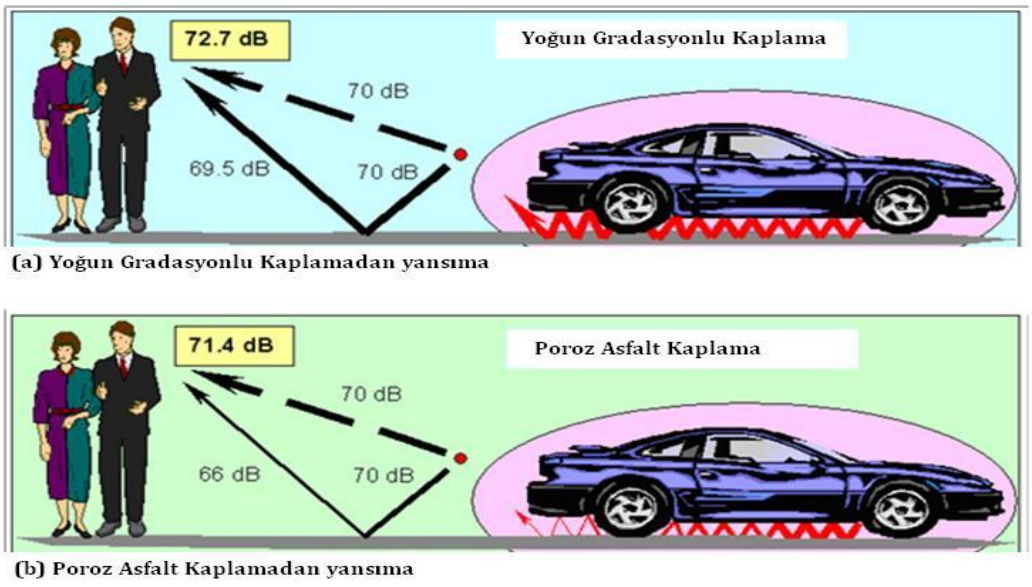
süren araştırmalar sonucu trafik gürültüsünde 4 dB bir azalma kaydedilmiştir bu azalma trafik gürültüsü enerjisinde %60'lık bir oranı göstermektedir.

Amerika Birleşik Devletleri dışında dünyada Hollanda, Belçika, Almanya, Kanada, Fransa ve Avusturya gibi pek çok ülkede atık lastik katkılı asfaltın gürültüyü azaltma etkilerinden yaralanmak için çalışmalar yapılmıştır.

Çalışmalarda genelde açık granülometriye sahip atık lastik katkılı asfalt, yoğun granülometriye sahip asfalt beton ve beton kaplamalar karşılaştırılmıştır. Atık lastik katkılı asfalt kaplamanın gürültüye etkilerini inceleyen pek çok araştırmanın temel konusu gürültüyü azaltan etkinin kaplamadaki hava boşluk oranındaki artıştan mı ya da karışım içindeki kauçuk parçalarının etkileri mi olduğudur.

4.4.1 Kaplamada gürültü emilimi

Kaplama tarafından sönümlenen trafik gürültüsü kaplamanın gözeneklerinde gürültü enerjisinden ısı enerjisine dönüşmektedir. Ses emilim katsayısını artıran en önemli faktör kaplamanın porozitesidir. Poroziteyi malzeme içindeki hava boşluk oranı olarak tanımlayabiliriz. **Şekil 4.8** trafik gürültü azalımında sönümleme katsayı mekanizmasının nasıl işlediğini göstermektedir. Bu mekanizma kaplama tabakasının yüzeyinden uzağa doğru yayılma temellidir. Bu mekanizma sadece tekerlek ve kaplama arasındaki sürtünme gürültüsünü etkilemez aynı zamanda aracın altından yansıyan gürültüyü de kapsar [8].



Şekil 4.8: Yoğun Granülometrili (a) ve Poroz Asfalt Kaplamadan Yansıma [21]

Yoğun granülometrili asfalt kaplama sesi yansıtırken poroz asfalt sesi emmektedir [22]. Geleneksel yoğun granülometrili asfalt kaplama ses emilim katsayısı 0.05 ile 2 arasındayken poroz asfaltta bu oran 0.4 ile 0.7 arasında ölçülmüştür.

Poroz malzeme kullanımı hava rezonans (horn effect) ve kaplama ile tekerlek sırtı arasındaki etkileşimden kaynanklanan basıncı minimize eder.

Gürültü sönümleme çalışmaları kaplamadan yansıyan ve yayılan gürültünün trafik gürültü seviyelerine etkileri temellidir. Burda üstünde durulması gereken nokta sesin yayılmasının gürültü azalması için önemli bir öge oluşu fakat gürültü azalımına etki eden birçok başka nedenler de vardır [21].

Sandberg ve Ejsmont 2002 yılındaki çalışmalarında belirli bir poroziteye göre tasarlanmış kaplamalarda maksimum sönümlemenin yüksek hızlı yollarda 1000 Hz frekansında, düşük hızlı yollarda ise 600Hz frekansında olduğunu ortaya koymuşlardır. Bununla birlikte araştırmacılar araba için tercih edilen tepe sönümleme frekans aralığının 500-1100 Hz olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Leung and Tighe 2007'de 85 km/s hızı için en önemli frekansın 1000Hz (hızlı yollar için) ve 50km/s için ise bu değerin 600Hz olduğunu belirtmişlerdir.

4.4.2 Kaplama tasarımında gürültüye etki eden faktörler

4.4.2.1 Maksimum agrega boyutu

Literatürdeki araştırmalar gösteriyor ki küçük boyutlarda maksimum agrega kullanılarak yapılmış pürüzsüz kaplamaların ses emiliminde etkili oldukları görülmüştür [23]. Maksimum küçük boyutlu agrega kullanımı kaplama üstündeki gürültüyü azaltır [24].

Meiarashi 1996'da drenaj asfaltlı yollarda gürültü azalımı hakkında çalışmalar yapmıştır. Diğer çalışmalarında agrega çaplarının gürültü emiliminde kritik bir rol oynadıklarını ortaya koymuştur. Aynı zamanda agrega boyutlarının büyümesinin gürültü seviyesini yükselttiğni gözlemlemiştir. Maksimum agrega boytu 13mm'den 10mm'e düşürülüğünde önemli bir ölçüde gürültü emilimi sağlanmıştır. Ticari araçlar için 1.0 ile 3.0 ağır taşıtlar için ise 1.0 ile 2.0 desibellik düşümler kayıt edilmiştir [25].

Sousa 2004'deki çalışmasında küçük boyutlu agregaların kullanılmasının tekerlek ve kaplama arasında sıkışan hava miktarını azaltacağını buna bağlı olarak basıncın azalacağını ve daha az gürültü meydana geleceğini vurgulamıştır [26].

Ek olarak iri taneli agrega granülometrisi düşük frekanslarda yüksek gürültü seviyelerine neden olur. Sonuç olarak porozite agrega granülometrisi ile kontrol edilir ve düşük poroziteye sahip malzeme de gürültüye neden olmaktadır.

4.4.2.2 Agrega tipi

Literatürde agrega tiplerinin karayolu gürültü azalımındaki etkileri hakkında önemli bilgiler bulunmamaktadır [21] mikro dokunun trafik gürültüsündeki etkilerini tartışılmıştır. Mikro doku arttıkça sürtünme artmakta yapışma-kayma hareketinin de buna bağlı olarak arttığı sonucuna varılmıştır. Mikro doku da agrega tipi ile belirlenmektedir.

Buna rağmen hafif ağırlığa sahip agregalar asfalt kaplama tabakasının dayanıklıklığı bakımından tavsiye edilmez. Canale 1990'da genleştirilmiş kil ile yapılan asfalt kaplamaların geleneksel asfalt kaplama tabakalarına göre daha düşük trafik gürültüsü verdiklerini ortaya koymuştur [27].

Buna ek olarak Huang'ın 1998'deki sonuçlarında gürültü ile agrega tipleri arasında bir bağlantı kurulmamıştır. Farklı kaplama kalınlıkları, farklı bağlayıcı özellikleri ele alınmıştır [28].

4.4.2.3 Lastik granülü, modifiyeli ve modifiyesiz bağlayıcılar

Swift 1999'da yaptığı çalışmalarda lastik granülü granülometrisinin ve farklı tipteki bağlayacıların gürültü sönümlemede etkileri olduğu sonucuna varmıştır. Küçük kauçuk parçaları kullanmak gürültü emilimini düşürürken büyük parçalar kullanmak emilimi arttırmaktadır. Bu davranış akış direncindeki değişim ile ilişkilendirilir. Granüle edilmiş kauçuğun ses emilimine olan etkisi geleneksel viskotermal mekanizmanın yapı üzerindeki sönümleyle bağlantılıdır [29].

Farklı tipte asfalt modifikasyonları farklı reolojik özelliklerdeki bağlaycılar sebep olmaktadır. Bu özelliklerde farklı bağlayıcılarla farklı tabaka kalınlarını yaratırlar.

Arizona Ulaştırma Bölümü tarafında yürütülen [24] çalışmada granüle edilmiş kauçuk katkılı açık granülometrili sürtünme tabakasının granüle edilmiş kauçuk eklenmemişe göre gürültüyü azalttığı gözlemlenmiştir.

4.4.2.4 Yaşlanma

Bennert 2005'de ve Sandberg 1987'de yaptıkları araştırmalar da kaplamanın yaşının artması ile gürültünün de artmakta olduğunu gözlemlemişlerdir.

Zamanla kaplamanın birçok özelliği değiştikçe kaplamanın akustik özelliği de değişmektedir. Kaplamanın zamana bağlı makro dokusu, mikro dokusu, rijitliği, porozitesi gibi özellikleri değiştiği için ses seviyesindeki değişimini incelemek çok komplekstir ve her özellikteki değişim ayrı bir şekilde incelenmelidir.

4.4.2.5 Doku

Bilindiği üzere kaplama dokusunun en önemli özelliği yağışlı havalarda sürtünme koşullarına etkisidir. Ancak kaplama dokusunun diğer bir özelliği de gürültü üzerinde etkisidir.

Purdue Üniversitesi'ndeki Institute for Safe, Quiet, and Durable Highways tarafından yapılan araştırmalarda 10 mm uzunluğun altında özeliklere sahip negatif dokuların gürültüyü azaltmak eğilimlerinin olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte diğer doku tiplerinin gürültüyü artırıcı eğilimleri vardır [24].

Sandberg 1987'de yaptığı çalışmada kaplama dokusu ile tekerlek-kaplama gürültüsü arasında güçlü bir korelasyon olduğu sonucuna varmıştır. Bu kolerasyonun negatif ya da pozitif yönde olabilir. Gürültü, kaplama dokusu ile artabileceği gibi azalabilmektedir. Maksimum pozitif korelasyonun gürültü ve doku orasında 400-500 Hz dalga boyunda ve 63-80 mm doku, maksimum negatif kolerasyonun ise 2500-8000 Hz'de ve 2-3.2 mm dokuda olduğunu tanımlamıştır

Sandberg 1987'de yaptığı çalışması göre pürüzlü dokuların A ağırlık gürültü seviyesi olarak söylemenin ve genellemenin imkansız olduğunu ortaya koymuştur.

Pürüzlü yollarda düşük frekans hakim iken, pürüzsüz yollarda yüksek frekans hakimdir. Örneğin ağır taşıtlar için sessiz olan bir yol hafif taşıtlar için gürültülü olabilir. Pürüzlü doku düşük frekanslarda gürültüyü artırırken yüksek frekanslarda düşer. Bununla birlikte drenaj asfalt yüzeyleri ikisi içinde sessizdir.

4.4.2.6 Yüzey tipi

Drenaj asfalt yol yüzeyi ile yoğun asfalt yüzeyini gürültü seviyeleri bakımında karşılaştırmıştır. Arabalar için 1.0 dB ile 7.0 dB, ağır taşıtlar için 4.0dB ile 6.0 dB ‘lik ses seviyelerinde düşme kaydetmiştir [25].

Bennert 2005’de farklı asfalt yüzeylerinin gürültü azalımındaki etkilerini incelemiştir. Asfalt temelli yüzeylerin Portland çimento betonlu yüzeylere göre daha düşük gürültü seviyelerinde olduğunu gözlemlemiştir [23].

Cho and Mun 2007’de yürüttüğü çalışmada gene asfalt kaplama yüzeylerinin Portlan çimento betonlu yüzeylere göre akustik faydalarının daha çok olduğu sonucuna varmışlardır [30]

Sousa 2004’de yaptığı çalışmada ise asfalt temellilerde açık granülometrili sürtünme yüzey tiplerinin Portland çimento beton temellilerde ise (diamond ground) yüzeylerin en sessizler olduğu ortaya konmuştur [26].

4.4.2.7 Rijitlik

Sandberg 1987’de yaptığı çalışmada kaplamanın rijtliğinin tekerlek yol etkileşiminden kaynaklı gürültü de önemli bir etkisi olmadığını vurgulamıştır. Bunun yerine rijitliğin etkisini ölçmek için başka bir yöntem kullanıp kaplamaları asfalt betonu ve portland çimento betonu temelli olarak sınıflandırmıştır. Bunun sonucunda da asfalt temelli kaplamaların daha sessiz olduğu sonucuna varmıştır [31].

Gürültü seviyesini düşürmek için diğer bir teknik ise poroz elastik yol yüzeyi uygulamasıdır [25]. Bu yöntem granüle edilmiş kauçuk ve üretan bağlayacının birleşimidir. Araştırmalar bu yöntemin bazı durumlarda 10.0 dBA‘e kadar gürültü seviyesinde azalma sağladıklarını göstermiştir. Fakat bu yöntemin dezavantajı başlangıç sürtünmesini ve yapışmasını azaltmasıdır.

Meiarashi 1996’daki araştırmalarında poroz elastik yıl yüzeyi ile yoğun granülometrili asfalt kaplamayı gürültü emilimleri yönünden karşılaştırmış ve poroz elastik yol yüzeyinin daha düşük gürültü seviyesine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Örneğin hafif araçlar için poroz elastik yüzeyi yoğun granülometrili kaplama ile karşılaştırdığımızda 13.0 dB, ağır taşıtlar için ise 6.0 dB 'lik gürültü seviyesinde azalmalar kayıt edilmiştir. Poroz elastik yüzeydeki gürültü seviyesinin yoğun granülometrili kaplamaya göre daha düşük olmasının iki ana nedeni vardır.

Bunlar poroz elastik yüzeydeki parçaların daha küçük ve daha rijitliklerinin daha düşük olmasından kaynaklanıyordur [25].

4.4.2.8 Kalınlık

Meiarashi 1996'da yaptığı çalışmada kaplama tabakasının kalınlığındaki artış hafif ve orta taşıtlar için gürültü azalımı sağlarken bu davranış ağır taşıtlar için geçerli olmamıştır. Hanson 2004'de kalın kaplama tabakası kullanımın gürültü azalamında etkili olduğunu önermiştir.

Sandberg 2002'deki yaptığı çalışmada kaplama kalınlığının trafik gürültüsüne etkilerini detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Hava akış direnci ile kaplama kalınlığı arasında ilişki kurmuşlardır [21].

Kaplama kalınlığı sönümlemenin en yoğun frekansını yönetmektedir bu nedenle sönümlemenin en yoğun frekansını düşük seviyelere getirmek için kaplamanın kalınlığını düşürmek gerekir.

En yoğun frekanslar için 1000 Hz kaplama kalınlığı 32 ve 50 mm arasında önerilmektedir.

4.4.2.9 Hava boşluk yüzdesi

Poroz ve yoğun kaplama arasındaki temel fark hava boşluk oranlarıdır. Hava boşluk oranı %10 'un altında olan kaplamalar yoğun %15'in üzerinde olan kaplamalar ise poroz olarak sınıflandırılırlar [21].

Genellikle hava boşluk oranı yüksek olan kaplamalar tercih edilir.

Hava boşluk oranı emilim seviyesini ve band genişliğini kontrol eder [21]. Açık granülometrili sürtünme tabakalarında boşluk oranı arttıkça gürültü sönümlemesi de artar.

4.4.2.10 Sıcaklık

Ledee and Pichaud sıcaklığın asfalt kaplama üzerindeki gürültüye etkilerini araştırmışlardır. Hava sıcaklığındaki her 1°C artış yoğun kaplamalar için 0.1dB poroz kaplamalar için 0.06dB'lik bir liner düşüşe sebep olmuştur [32].

4.5 Atık Lastik Katkılı Asfaltın Gürültüye Etkilerini Araştıran Deney ve Sonuçları

Laboratuvar Deneyi

Atık lastik katkılı asfalt tabakanın gürültü sönümlemesine olan etkilerini araştırmak üzere birçok deney ve gözlem yapılmıştır. Bu deney ve gözlemler genellikle iki gruba ayrılır. Laboratuvar ortamında oluşturulan örneklerin sönümlemeyi azaltacak dış etkilerden bağımsız olarak kontrollü bir şekilde ölçülmeleri ya da seçilmiş bir yolda birçok farklı ölçüm metotları kullanılarak kaplama uygulanmadan önceki ve sonraki gürültü değerlerlerinin karşılaştırılarak analiz edilmesidir.

Laboratuvar ortamında hazırlanan örneklerin sönümlemeyi azaltacak dış etkilerden bağımsız olarak kontrollü bir şekilde ölçülmeleri temeline dayanır. Bu metot empedans tüpü ya da duran dalga olarak adlandırılır ve Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu tarafından standartlaştırılmıştır (ASTM E1050). Bu metotta bir tüp, tüpün iki yanına yerleştirilmiş mikrofonlar ve dijital frekans analiz sistemi kullanılmaktadır. Buna ek olarak Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) tarafından da empedans tüpü ile ses sönümleme katsayısı olarak belirlenmiştir (ISO10534-2).

Metot metaryallerin akustik özelliklerini belirlemek amacıyla bulunmuştur ve metotun prensibi örneklere gönderilen sesin yansıma dalgalarını ölçmek üzerinedir [8].

4.5.1.1 Deneyin adımları

Araştırmada aşağıda takip eden karışımlar, malzemeler ve atık lastik granülünün gürültü sönümlemesindeki etkilerini araştırmak için yapılcak adımlar sıralanmıştır.

1. Kaplama yüzey tipinin etkilerini değerlendirmek için aşağıda sıralanmış farklı karışımlar hazırlanmıştır.

%0.5 ± % 3.5 hava boşluk oranlı 12mm ‘lik yoğun granülometrili(dense-graded)

%0.5 ± %16 hava boşluk oranlı 12mm’lik açık granülometrili sürtünme tabakası (AGST)

2. Bağlayacıların gürültü sönümlemesindeki etkilerini test etmek için aşağıda sıralanmış farklı bağlayacı tipleri kullanılmıştır.

Virgin PG 64-22 Venezuelan bağlayacı

Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) modifiye PG 76-22 Venezuelan bağlayacı

Virgin PG 64-22 Texas bağlayacı

SBS-modifiye PG 76-22 Texas bağlayacı

3. Granüle edilmiş modifiye kauçuk bağlayıcının gürültü sönümlemesindeki etkilerini test etmek için aşağıda sıralanmış farklı konsantrasyonlarda karışımlar hazırlanmıştır.

a. Yoğun granülometri için (dense-graded)

%12'den aşağı 40 nolu elek (0.425mm) granüle edilmiş kauçuk granülometrisi

%20'den aşağı 40 nolu elek (0.425mm) granüle edilmiş kauçuk granülometrisi

b. Açık granülometrili sürtünme yüzeyi için (AGST)

%12'den aşağı 40 nolu elek(0.425mm) granüle edilmiş kauçuk granülometrisi

%12'den aşağı 16 nolu elek (1.18mm) granüle edilmiş kauçuk granülometrisi

%20'den aşağı 40 nolu elek (0.425mm) granüle edilmiş kauçuk granülometrisi

%20'den 16 nolu elek (1.18mm) granüle edilmiş kauçuk granülometrisi

4.Atık lastiklerin granüle etme yöntemlerinin gürültü sönümlemesindeki etkilerini test etmek için aşağıda sıralanmış farklı yöntemler uygulanmıştır.

Çevre sıcaklığında öğütülmiş (ambient method)

Çok düşük derecede öğütülmüş (cryogenic method)

5.Hava boşluk boyutunun ve kaplamanın bağlayacı malzemesinin etkileri test edilmiştir.

6.Hava boşluk yüzdesinin, porozitenin, geçirgenliğin ve kaplama kalınlığının etkileri değerlendirilmiştir.

7.Bütün örneklerin elastikiyet modülü (resillent modulus) ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Elastikiyet değişimi ile gürültü sönümlemesinde gerçekleşen değişim karşılaştırılmıştır.

8.Kaplama tabakasının kalınlığının gürültü sönümlemesinde etkilerini test etmek için farklı aşağıda sıralanmış farklı kalınlıktaki karışımlar hazırlanmıştır.

89.0mm (3.5 inch)

64.0mm (2.5 inch)

44.0mm (1.75 inch)

25.0mm (1.0 inch)

9.Kaplamanın uzun süre yaşlanma etkisinin gürültü sönümlemedeki etkileri için 5 gün boyunca 85℃'deki fırında beklemiş örnekler hazırlanmıştır .

10.Örneklerin laboratuvar değerlendirmeleri aşağıda sıralanan testlerle yapılmıştır.

Dinamik Kayma Reometrisi (Dynamic shear rheometer) (DSR)

Dönel Viskometre (Rotational viscometer) (RV)

Döner İnce Film Testi (Rolling thin film oven) (RTFO)

Basınç Yaşlanma Gemi(Pressure aging vessel)(PAV)

Bükme Işın Reometrisi(Bending beam rheometer) (BBR)

Çalışmada agrega granülometrisi, agrega boyutu, agrega tipi, tekerlek tipi, araç tipi, sıcaklık ve trafik hacminin gürültü sönümlemesindeki etkileri araştırılmamıştır. Bu etkenlerin etkileri daha önce birçok farklı çalışmada ortaya konmuştur [8].

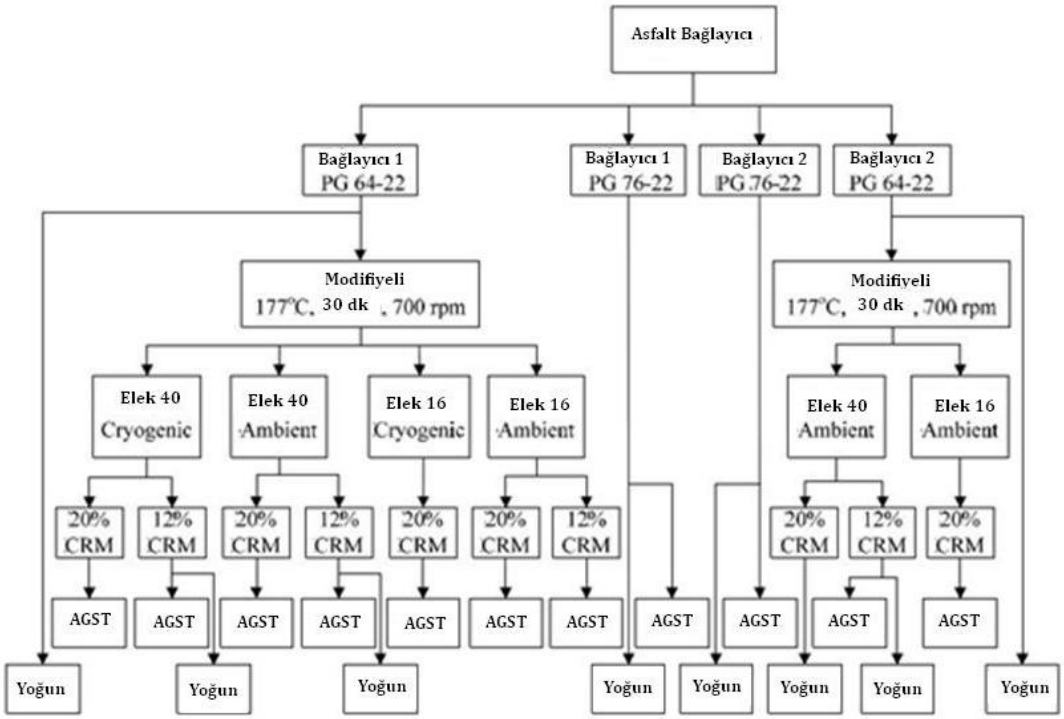
Karışım Tasarımı

Bu çalışma için toplamda 19 farklı karışım tasarımı üretilmiştir. Bu karışımlar farklı atık lastik granülü konstrasyonu, farklı kauçuk granülometrisi ve farklı agrega granülometrilerinin bir kombinesidir.

Aşağıdaki **Şekil 4.9** bu çalışma için sıcak asfalt karışımlarının deneysel tasarımı gösterilmektedir [8].

Karışım tasarımında 12.5-mm'lik yoğun granülometrili ve 12.5-mm'lik açık granülometrili sürtünme yüzeyi karışımı olmak üzere iki farklı kaplama tipi seçilmiştir. ABD'de birçok eyalette yaygın bir kullanımı olduğundan dolayı 12-mm'lik karışım tercih edilmiştir. Her iki karışımında agrega granülometrisi Superpave metotunda uygulanan kaplama tasarımı şartnamelerine uygun olarak seçilmiştir. Yoğun granülometrili karışımların şartnamesi karışımların tasarımı için 100 gyrations gerektirmektedir. Laboratuvarda üretilip sıkıştırılan açık granülometrili sürtünme yüzey (AGST) karışımlarının şartnamesi ASTM D7064'de tanımlanmıştır.

Açık granülometrili sürtünme yüzeyi (AGST) ASTM tarafından kızaklanma etkisini ve kayma potansiyelini yüzey üstündeki suyu kaplamanın kenarına taşıyarak azaltan özel bir kaplama karışımı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.9: Deney için Uygulanacak Sıcak Asfalt Karışım Tasarımı[8]

Açık granülometrili sürtünme yüzey karışımınlarının karışım tasarımı sırasında 3 agrega granülometrisi denemesi yapılmıştır. Her granülometri denemesi için asfalt bağlayacı yüzdesi 6.0 olan bağlayacı içeri seçilmiştir. Optimum bağlayacı içeriği ve granülometrisi Superpave Konili Kompaktör kullanılarak 50 gyrations ile hazırlanır ve sıkıştırılır. Draindown (boşaltma) testleri ASTM D6390' a uyumlu olarak yapılmıştır ve testler sırasında herhangi bir draindown görülmemiştir.

Yoğun granülometrili karışımlar için optimum bağlayacı içeriği %0.5±%3.5 hava boşluklu iken açık granülometrili sürtünme yüzeyi karışımları için bu oran %0.5±%16 aralığında tanımlanmıştır [8].

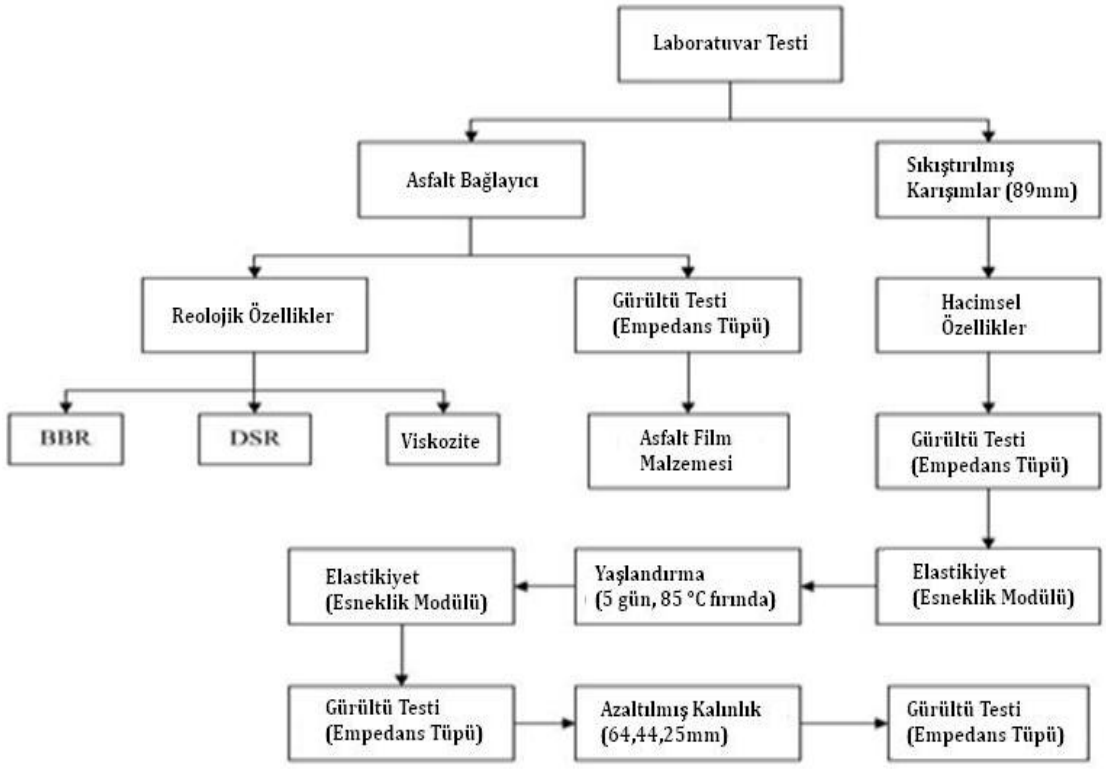
4.5.1.2 Metotlar

Araştırmacılar poroz materyallerin akustik parametrelerini akustik olamayan porozite gibi parametrelerle ölçülebilceğini rapor etmişlerdir. Bundan dolayı hava boşluk

oranı, porozite, geçirgenlik ve kaplama kalınlığı çeşitli karışımlar için elde edilmiş ve geliştirilmiştir.

Yoğun granülometrili örneklerin hava boşlukları (AASHTO T166) metotunu, açık granülometrili sürtünme yüzey karışımlarının ise (AASHTO TP69) metotu ile ölçülmüştür. Geçirgenlik ASTM PS129 "Esnek Geçirimölçer Duvarı Kullanarak Bitümlü Kaplama Karışımlarının Geçirgenliğini Standart Geçici Metot ile Ölçme" standartları ile ölçülmüştür. Porozite ise ASTM D7063 "Sıkıştırılmış Bitümlü Kaplama Karışım Örneklerinin Efektif Hava Boşluk Oranını ve Efektif Porozitelerini Standart Ölçme Metotu" kullanılarak elde edilmiştir [8].

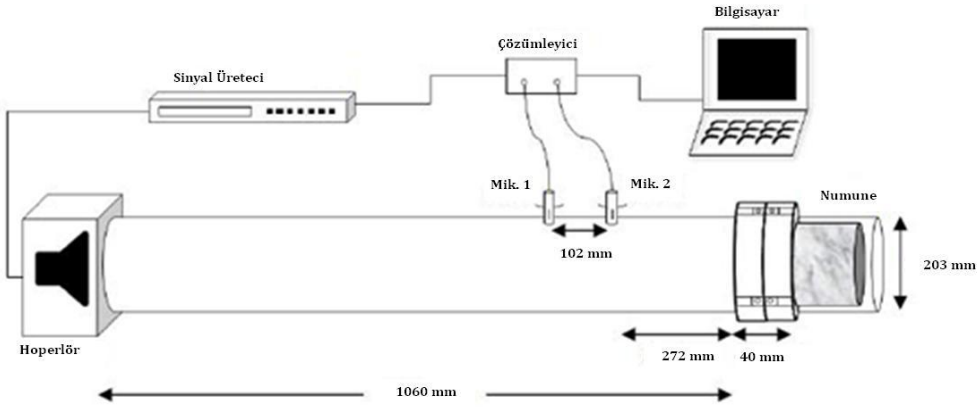
Şekil 4.10 laboratuvarda yürütülen testlerin deneysel tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 4.10: Laboratuvarda Yürütülen Testlerin Deneysel Tasarımı[8]

4.5.1.3 Gürültü deneyi kurulumu

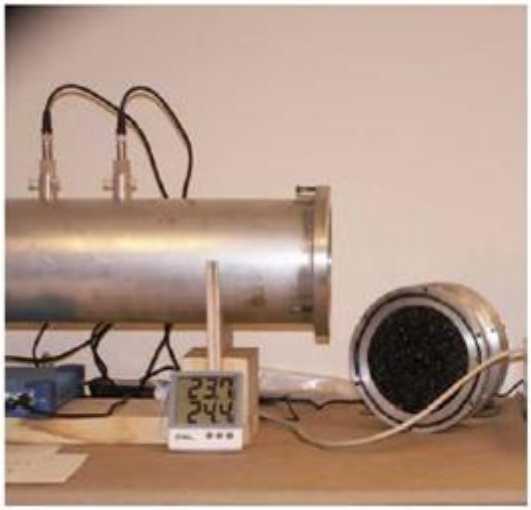
Hazırlanan örneklerin gürültü sönümleme ölçümleri için empedans tüpü kullanılmıştır. ASTM E1050 yürütülen test için gerekli olan kurulumu belirtmektedir. **Şekil 4.11** empedans tüpünü ve birleşenlerini göstermektedir [8].



Şekil 4.11: Ses Sönümlemesi için Empedans Tüpünün Deneysel Kurulumu [8]



Şekil 4.12: Empedans Tüpü [8]





Kalıpta örnek varken (a) Kalıp boş iken (b)

Şekil 4.13: Kalıplar [8]

150mm çaplı bir empedans tüpü sıkıştırılıp hazırlanmış örnekleri test etmek için seçilmiştir. Tüpün uzunluğu ve mikrofonların yerleşimi gerekli kurumlum standartlarına uygun olarak seçilmiştir. Frekans aralığı ölçümlerin analizlerinin doğru bir şekilde yapılması için 400Hz ve 1200Hz aralığındadır.

Hazırlanan örnekler kalıplara yerleştirilir ve daha sonra kalıplar empedans tüpünün sonuna yerleştirilirler. Tüpün diğer tarafına da bir hoparlör yerleştirilir. Deneysel çalışmanın bir parçası olarak insan kulağının işitebileceği frekans kombinasyonları için parazit (white noise) üreten bir yükseltici bağlanmıştır. Örneklerden yayılan ses dalgaları empedans tüpünün iki tarafına yerleştirilmiş mikrofonlar tarafından ölçülür. Kolayca kullanılabilen bir yazılım sayesinde ses sönümleme katsayıları hesaplanır.

Herbir örneğin aynı yüzeyi için 3 farklı bölgesi empedans tüpü kullanılarak test ediliyor. Ayrıca seçilen ilk bölge 5 defa ölçülür böylece her örnek başına toplamda 7 ölçüm yapılmış oluyor [8].



Şekil 4.14: Empedans Tüpü içindeki Örnek [8]

4.5.1.4 Asfalt film kalınlığının ve hava boşluk boyutunun etkisi

Kaplama tabaka kalınlığını hesaplamak için birçok birim tarafından geliştirlmiş pek çok metot vardır fakat bu deneyde en yaygın olan metot kullanılmıştır. Bu metot asfalt karışımında kullanılan agregagranülometrisininyüzey alanını bulma temeline dayanmaktadır. **Çizelge 4.1** ‘de yüzey alanı etmenleri gösterilmiştir [8].

Çizelge 4.1 : Yüzey Alanı Faktörleri [8]

Elek Numarası	Yüzey Alan Faktörleri
Maksimum Elek Numarası Geçiş %	0.41
No.4 Maksimum Geçiş %	0.41
No.8 Maksimum Geçiş %	0.82
No.16 Maksimum Geçiş %	1.64
No.30 Maksimum Geçiş %	2.87
No.50 Maksimum Geçiş %	6.14
No.100 Maksimum Geçiş %	12.29
No.200 Maksimum Geçiş %	32.77

Asfalt kaplama kalınlığı aşağıda verilen **denklem** 4.1 kullanılarak hesaplanmaktadır.

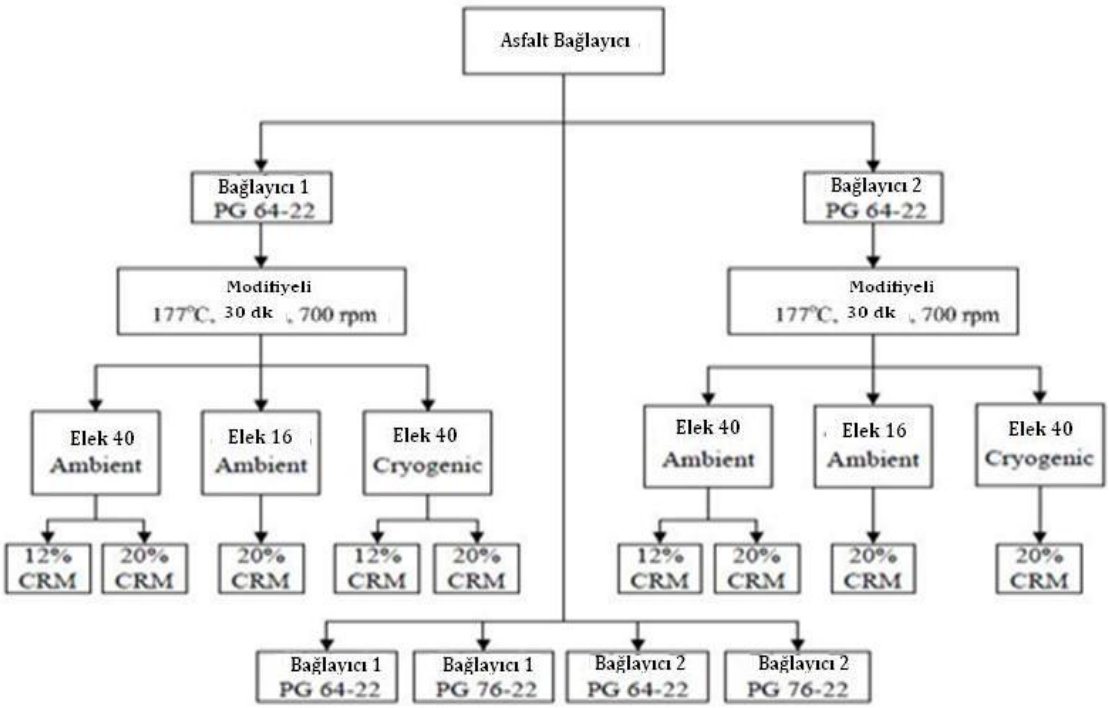
$$AFT = \frac{V_{asp}}{SA \times W_{agg}}(1{,}000) \qquad \textbf{(4.1)}$$

Bu denklemde AFT ortalama kaplama kalınlığı (mikron), V_{asp} asfalt çimentosunun efektif hacmi (litre), SA kilogram başına metrekareye düşen hesaplanmış agrega yüzey alanı, W_{agg} ise agrega ağırlığı (kilogram) [33].

Asfalt karışımlarda asfalt bağlayacı agregaları örten ince bir film gibidir. Bu nedenle farklı bağlayacı kombinasyonları ince bir film gibi test edilmiştir. 1mm kalınlığında ince bir film halinde alüminium diskler kaplanarak bu test gerçekleştirilmiştir. Diskler farklı kauçuk boyutu, konsantrasyonu, granülometri kombinasyonları ve farklı bağlayacı tipleri kaplanmıştır. **Şekil 4.15** kullanılan kombinasyonları göstermektedir.

1mm kalınlığındaki film disklere 18.2 gram asfalt serilerek ve 177°C'lik fırın da 10 dakkika bekleyerek hazırlanmıştır. Bütün bağlayacı kombinasyonları empedans tüpünde test edilmiştir.

Test her asfalt bağlayacı kombinasyonu için aynı şartlar altında yapılır ve empedans tüpünün malzemesi ASTM E1050 şartnamesi uyarınca ihmal edilir.



Şekil 4.15: Film Malzemesinin Etkilerini Değerlendirmede Kullanılan Granülü Kauçuk Modifiyeli Bağlayacılar [8]



Şekil 4.16: Asfalt film Uygulamasında Kullanılan Kalıplar

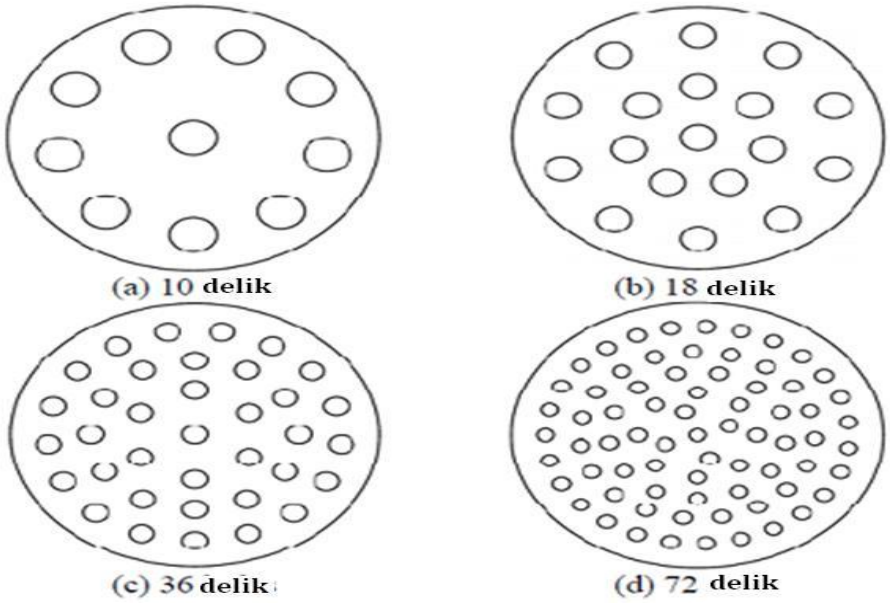
Hava boşluk boyutu da aynı zamanda incelenmiştir. Hava boşluk yüzdeleri %0.5±%16 olan fakat hava boşluk boyutları değişen 4 farklı disk hava boşluk boyutunun incelenmesi için hazırlanmıştır.

Çizelge 4.2 hazırlanan her bir disk için hava boşluk deliklerini boyutlarını ve sayılarını göstermektedir [8].

Çizelge 4.2 : Her Bir Diskin Hava Boşluk Boyutu ve Sayısı **[8]**

Disk	Delik Sayısı	Çap (cm)	Delik Alanı (cm^2)	Yüzey Alanı (cm^2)	Toplam Delik Alanı (cm^2)	Toplam Yüzey Alanı (cm^2)	Hava Boşluğu %
a	10	1.91	2.85	7.60	28.50	76.01	16.1
b	18	1.43	1.60	5.70	28.86	102.61	16.3
c	36	1.00	0.79	3.99	28.27	143.63	16.0
d	72	0.71	0.40	2.85	28.81	205.03	16.3

Şekil 4.17 aşağıda her bir disk için delik dağılımını göstermektedir.



Şekil 4.17: Her Bir Disk için Delik Dağılımı [8]

Asfalt karışım örnekleri agrega, asfalt ve hava boşluğundan meydana gelir. Hava boşluğu özellikleri boyuta ve tabakanın kalınlığına göre farklılık göstermektedir. Bu bölümde asfalt karışım herbir birleşeni için ayrı testler gerçekleştirilmiş olup hangi birleşenin gürültü sönümlemesinde önemli bir rol oynadığı saptanmaya çalışılmıştır [8].

4.5.1.5 Yaşlanma ve elastikiyet etkileri

Örneklerin gürültü testleri yapıldıktan sonra 25°C'de eksensel test sistemi kullanılarak elastikiyet modülleri (resillent modulus) elde edilir. Örnekler daha sonra önceden 85°C sıcaklığa yüksektilmiş fırına yerleştirilerek 5 günlük bir periyod için beklemeye alınırlar. Bu periyod uzun süre yaşlanma etkisinin bir simülasyonudur. Yaşlanma AASHTO R30 "Sıcak Asfalt karışımlarını Karıştırma Koşullandırması" (Mixture Conditioning of Hot Mix Asphalt) göre yapılır. Daha sonra örnekler 25°C'de tekrar esneklik modülleri ölçülerek esneklik modülündeki değişimin gürültü sönümlemeye etkileri incelenir [8].

4.5.1.6 Kaplama kalınlığının etkileri

89mm yüksekliğindeki yaşlanma testi uygulanmamış örneklerin gürültü sönümleme testleri yapıldıktan sonra sırayla 64mm, 44mm ve 25mm 'ye düşüne kadar örneklerin yükseklikleri her defasında gürültü sönümleme testleri tekrar edilerek ses sönümleme katsayıları kayıt edilmiştir [8].

4.5.1.7 İstatistiksel analiz prosedürü

Bu deneyde elde edilen verilerin analizi için için farklı iki çıkarımsal istatistik yöntemleri kullanılmıştır.

- Varyans Analizi (Analysis of variance (ANOVA))

- Fisher's least significant difference (LSD)

İstatiksel Analiz Sistemi (SAS) (SAS/STAT system version 9.1, Cary,NC) ve Microsoft Excel deneyden elde edilen verilerin analizi ve değerlendirilmesi için kullanılmıştır.

Bağımsız değişkende çok fazla sayıda grup varsa ANOVA kullanılır. ANOVA bağımsız değişkenlerin kendi aralarında nasıl bir etkileşime girdiklerini ve bu etkileşimlerin bağımlı değişken üzerinde etkilerini analiz etmek için kullanılır. T testi iki örneklemenin ortalamalarının eşit olup olmadığı hipotezini test eder. ANOVA ise üç ya da daha fazla ortalamanın eşit olup olmadığını test eder. ANOVA F istatistiğini verir. F verilerdeki sistematik varyans miktarını sistematik olamayan varyansla karşılaştırır. Bu araştırmada güven düzeyi %95'dir. Aşağıdaki çizelge F testini hesaplanması için ANOVA tablosu verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Raslantısal Tasarım için ANOVA Tablosu **[8]**

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Dereceleri	Kareler Ortalaması	F-Testi
Örnekler arası	SSB	t-1	s^2_B=SSB/(t-1)	$s^2_B = s^2_W$
Örnekler içi	SSW	n_T-t	s^2_W=SSB/(n_T-t)	
Toplamlar	TSS	n_T-1		

$$SSB = \sum_i n_i (\overline{y_i} - \overline{\overline{y}})^2 \quad \textbf{(4.2)}$$

$$SSW = \sum_{i,j} (y_{i,j} - y_i)^2 \quad \textbf{(4.3)}$$

$$TSS = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=1}^{n_i} (y_{i,j} - \overline{\overline{y}})^2 = (n_t - 1)s_T^2 \quad \textbf{(4.4)}$$

SSW= *örnekler arası karelerin toplamı*

SSW= *örnekler içi karelerin toplamı*

TSS= *karelerin toplamı*

t= *farklı popülasyon sayısı*

n_t =toplam gözlem sayısı

$y_{i,j}$ = *i popülasyonunda* j_{th} *gözlemi*

n_i = *i popülasyonundaki gözlem sayısı*

$\overline{y_i}$ = *i popülasyonundaki gözlemlerin ortalaması*

$\overline{\overline{y}}$ = *bütün popülasyonlardaki bütün gözlemlerin ortalaması*

Tek yönlü varyans analizi (ANOVA), başka bir ortalama ile ortalama bir grubun daha fazla araştırmak ve karşılaştırmak isteyebilirsiniz. Bunu yapmanın bir yolu Fisher En Küçük Anlamlı Fark Analizi (LSD) testi kullanmaktır. LSD testi yalnızca F testinin sonuçları anlamlı çıkarsa uygulanabilir.

$$LSD_{ij} = t_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{S_W^2} \left(\frac{1}{n_i} - \frac{1}{n_j} \right) \quad \textbf{(4.5)}$$

$t_{\frac{\alpha}{2}} = \alpha$ *için kritik t değeri*$= \alpha /2$

S_W^2 = *örnekler arası karelerin ortalaması*

n_i ve n_j = *sırasıyla i ve j popüslasyonu için örneklerin boyutları*

Ölçülmüş karışım tasarımların ses sönümleme katkayılarını incelemek için lineer regreyson analiz metotu kullanılmıştır.Model aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 .... \beta_n x_n + \varepsilon \quad \textbf{(4.6)}$$

y=bağımsız değiken

β_0 , β_1 , β_2 …… β_n = *hesaplanacak bilinmeyen özellikler*

x_1 , x_2 …. x_n =*regresyon ya da bağımsız değişkenler*

ε =*hata etkisi*

Geliştirilmiş modeller için eşitlik çizgisi sunulmuştur. Microsof Excel yazılımı kullanılarakta hangi verinin çizginin yakınında olduğu ve ne kadar güçlü bir kolerasyona sahip olduğu belirlenir [8].

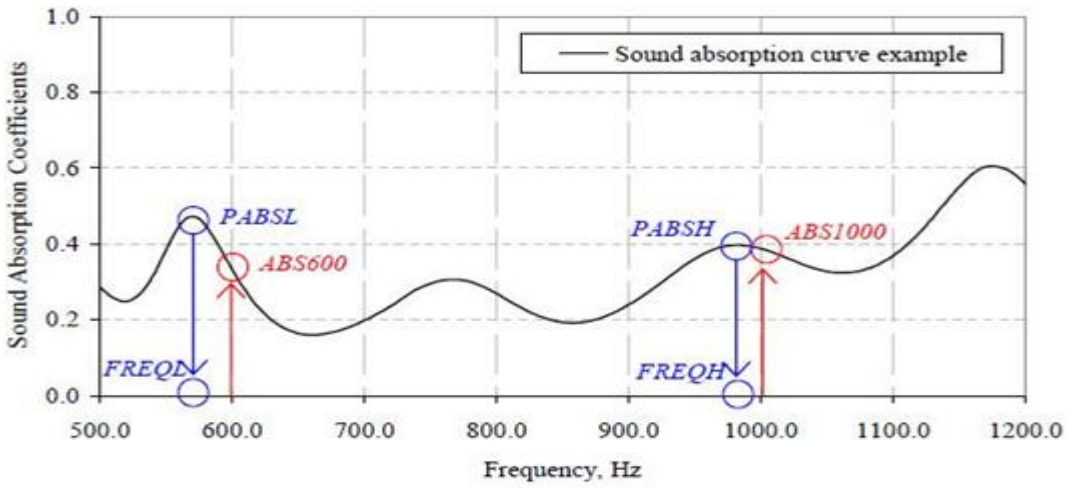
4.5.1.8 Deneyin sonuçları

4.5.1.8.1 Ses sönümleme ölçümleri

Örneklerin ses sönümeleme yeterlilikleri ASTM E1050'ye göre test edilmiştir. Her testten elde edilen çıktı dosyaları Microsoft Exel yazılımı kullanılarak işlenmiş ve ortam sıcaklıkları ile herbir test için geçen süre kayıt edilmiştir.

Gürültü sönümleme katsayılarından oluşan sonuçlar 2.5Hz'lik artışlarla 0-2000Hz arası frekans aralığında elde edilmiştir. Bu çalışmada empedans tüpü boyutlarına dayalı olup sadece 400Hz ile 1200 Hz arasında olan gürültü sönümleme katsayıları doğru ölçümler olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte sadece seçilmiş olan frekanslar için sonuçlar analiz edilerek ilgili noktalar tespit edilmiştir.

Literatüre göre düşük hızlı trafik için gürültü sönümleme katsayısının tepe noktası yaklaşık 600Hz, yüksek hızlı trafik için de bu değer gene yaklaşık olarak 1000 Hz olarak tavsiye edilmektedir. Bu nedenle her bir örnek için ses sönümleme katsayıları bu frekanslarda analiz edilmiştir. Literatürdeki diğer çalışamalar sönümleme tepe noktasının malzemenin kalınlığına göre değiştiğini belirtmiştir. Tepe sönümleme noktası ve buna karışılık gelen frekanslar her bir örneğin tepe sönümleme katsayı frekansları incelendikten sonra düşük hızlı yollar için 500Hz-700Hz frekans aralığında ve yüksek hızlı yollar için 900Hz-1100 Hz frekans aralığında olduğu tespit edilmiştir. **Şekil.18** ses sönümleme değerlendirmesi için seçilmiş olan altı noktayı göstermektedir. ABS600 VE ABS1000 sırasıyla 600Hz ve 1000Hz'deki ses sönümleme katsayılarını göstermektedir. PABSL düşük frekans aralığındaki (500-700)Hz sönümleme katsayısının tepe noktasını PABSH ise yüksek frekans aralığındaki (900-1100)Hz sönümleme katsayısı tepe noktasını göstermektedir. FREEQL ve FREQH sırasıyla düşük ve yüksek ses sönümleme katsayısı tepe noktalarını göstermektedir [8].

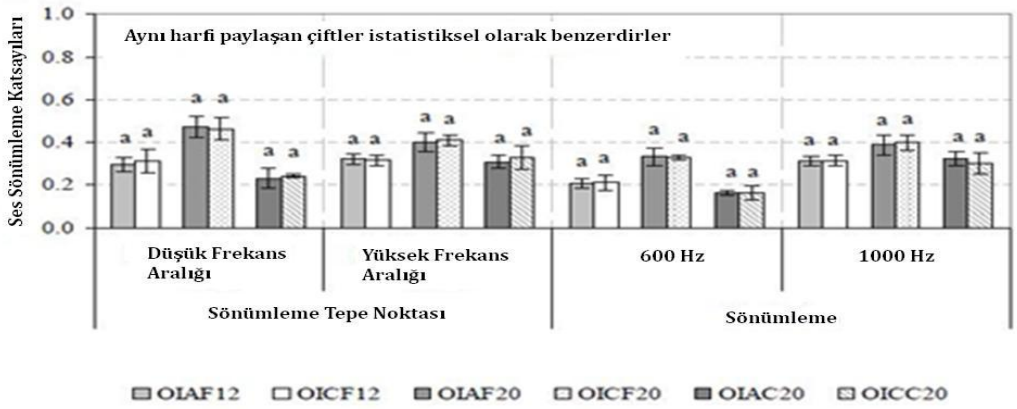


Şekil 4.18: Ses Sönümleme ile ilgili Seçilmiş Noktalar [8]

4.5.1.8.1.1 Granüle edilmiş kauçuk tipinin etkileri

Çevre sıcaklığında öğütme (ambient) ve çok düşük sıcaklıklarda öğütme (cryogenic) metotlarının ses sönümleme katsayıları hazırlanan karışımlar için karşılaştırılmıştır. **Şekil 4.19** ve açık granülometrili sürtünme yüzey karışımları için olan sonuçları

göstermektedir. Sonuçlar atık lastiğin granüle etme metotlarının istatistiksel olarak ses sönümlemesinde bir etkileri olmadığını göstermiştir. Sonuçlar 600Hz ve 1000Hz olmak üzere düşük ve yüksek frekanslardaki ses sönümleme tepe noktasında değerlendirilmiştir [8].



Şekil 4.19: Granüle Kauçuğun Öğütülme Yönteminin AGST Karışımlarının ses sönümlemesine etkileri [8]

O:*açık granülometrili sürtünme tabakası (AGST)*

I: *birinci bağlayacı türü*

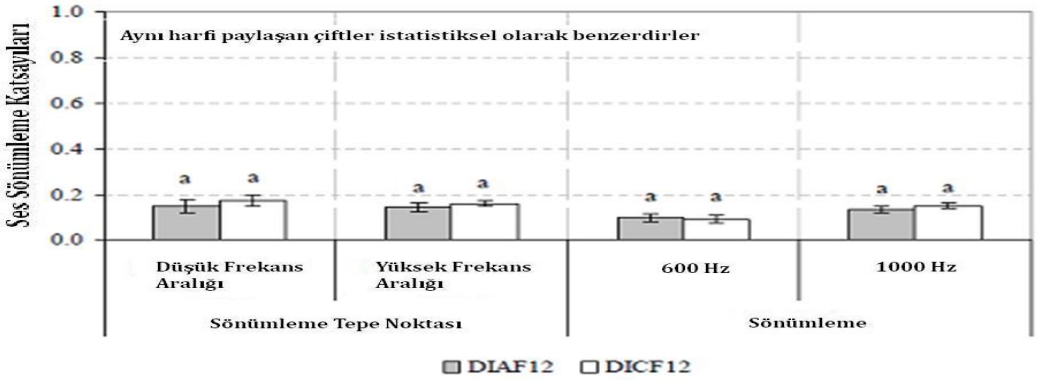
A: *çevre sıcaklığında öğütme metodu (ambient method)*

C: *çok düşük sıcaklıkta öğütme metodu (cryogenic method)*

F: *pürüzsüz kauçuk*

C: *pürüzlü kauçuk*

12 ve 20: *bağlayacıdaki %'de olarak kauçuk ağırlığı %12-%20*



Şekil 4.20: Granüle Edilmiş Kauçuğun Öğütülme Yönteminin Yoğun Grasdasyonlu Karışımların Ses Sönümlemesindeki Etkileri [8]

D:*yoğun granülometrili karışım*

I: *birinci bağlayacı türü*

A: *çevre sıcaklığında öğütme metodu (ambient method)*

C: *çok düşük sıcaklıkta öğütme metodu (cryogenic method)*

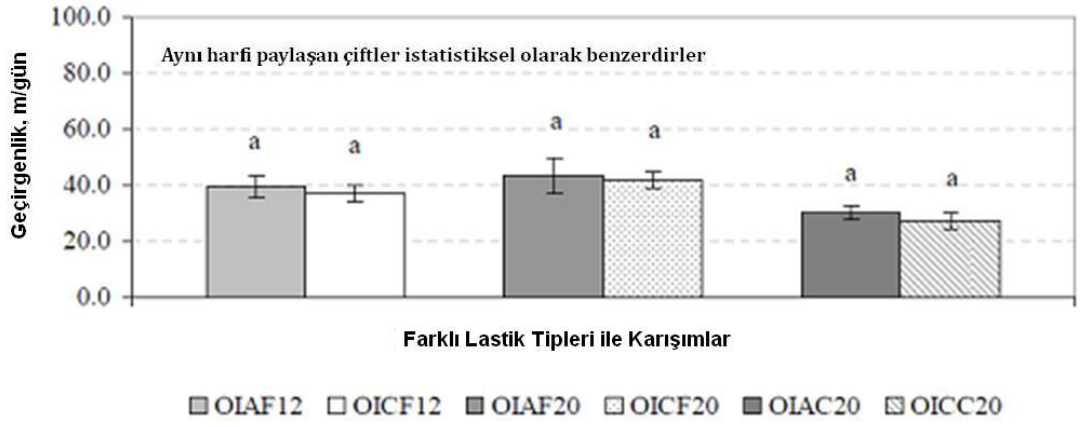
F: *pürüzsüz kauçuk*

12 ve 20: *bağlayacıdaki %'de olarak kauçuk ağırlığı %12-%20*

Yoğun granülometrili karışımlar için granüle etme metotlarının ses sönümlemedeki etkileri açık granülometrili sürtünme yüzeyli karışımlar için olanla benzerlik gösterir. **Şekil 4.20** yoğun granülometrili karışımlar için olan sonuçları göstermektedir [8].

Ayrıca, çevre sıcaklığında öğütme (ambient) ve çok düşük sıcaklıklarda öğütme (cryogenic) metotları ile hazırlanmış karışımların hacimler özellikleri de karşılaştırılmıştır. **Şekil 4.21** farklı karışımların gerçirgenliklerini göstermektedir. Sonuçlar açık granülometrili sürtünme yüzeyli karışımların gerçigenlik bakımından istatistiksel bir farklarının olmadığını ortaya koymuştur [8].

Diğer bir taraftan karışımların porozite yüzdeleri karşılaştırılmış ve sonuçlar **Şekil 4.22** 'de gösterilmiştir. Sonuçlar karşılaştırılan iki karışım arasında istatistiksel olarak fark olduğunu ortaya koymuştur. Bulgular ses sönümlemesini değerlendiriken geçirgenliğin poroziteye göre daha fazla etkisi olduğunu göstermiştir. Porozitedeki değişim ses sönümlemesinde bir değişime neden olmamaktadır [8]



Şekil 4.21: Granüle Edilmiş Kauçuğun Öğütülme Yönteminin AGST Karışımlarının Geçirgenliğindeki Etkileri [8]

Şekil 5.1:

O:*açık granülometrili sürtünme tabakası (AGST)*

I: *birinci bağlayacı türü*

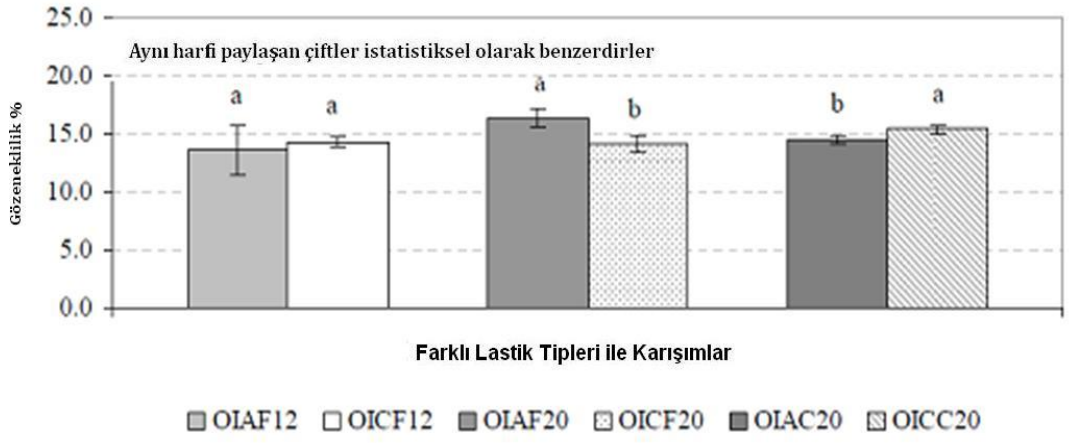
A: *çevre sıcaklığında öğütme metodu (ambient method)*

C: *çok düşük sıcaklıkta öğütme metodu (cryogenic method)*

F: *pürüzsüz kauçuk*

C: *pürüzlü kauçuk*

12 ve 20: *bağlayacıdaki %'de olarak kauçuk ağırlığı %12-%20*



Şekil 4.22: Granüle Edilmiş Kauçuğun Öğütülme Yönteminin AGST Karışımlarının Porozitesindeki Etkileri [8]

O:*açık granülometrili sürtünme tabakası (AGST)*

I: *birinci bağlayacı türü*

A: *çevre sıcaklığında öğütme metodu (ambient method)*

C: *çok düşük sıcaklıkta öğütme metodu (cryogenic method)*

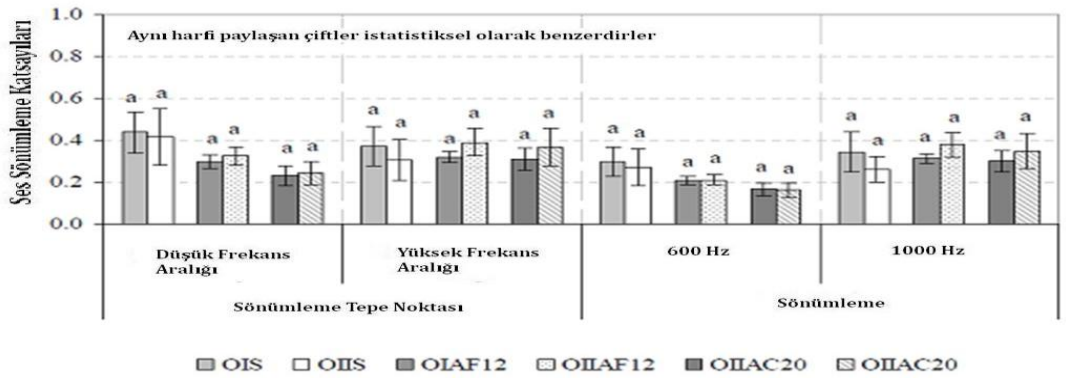
F: *pürüzsüz kauçuk*

C: *pürüzlü kauçuk*

12 ve 20: *bağlayacıdaki %'de olarak kauçuk ağırlığı %12-%20*

4.5.1.8.1.2 Bağlayıcı kaynağın etkiler

Açık granülometrili sürtünme yüzeyli karışımların karşılaştırma sonuçlar Şekil **4.23**'de gösterilmiştir.Açık granülometrili sürtünme yüzeyli karışımlarda bağlayacı kaynağının ses sönümlemesinde kayda değer bir etkisi olmadığı ortaya çıkmıştır.[8]



Şekil 4.23: Bağlayıcı Tipinin AGST Karışımlarının Ses Sönümlemesine Etkileri [8]

O: *açık granülometrili sürtünme tabakası (AGST)*

I: *birinci bağlayacı türü*

II: *ikinci bağlayacı türü*

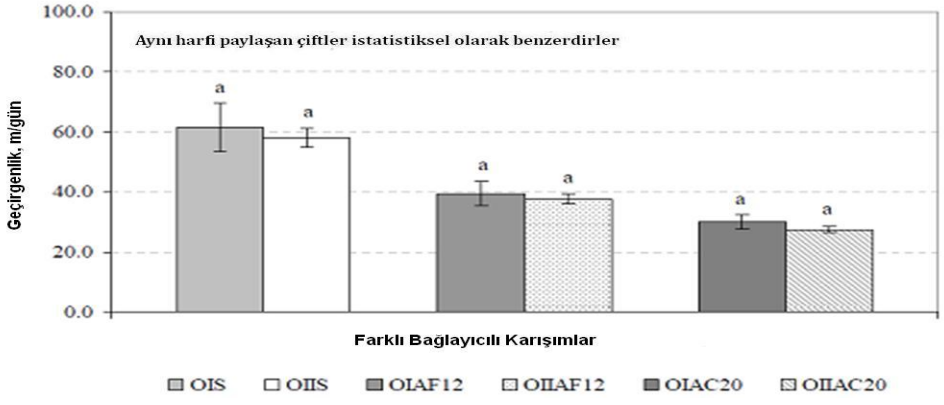
A: *çevre sıcaklığında öğütme metodu (ambient method)*

F: *pürüzsüz kauçuk*

C: *pürüzlü kauçuk*

12 ve 20: *bağlayacıdaki %'de olarak kauçuk ağırlığı %12-%20*

Bağlayacı I ve bağlayacı II içeren karışımların hacimsel özellikleri karşılaştırılmıştır. **Şekil 4.24** ve **Şekil 4.25** karşılaştırılan karışımların geçirgenlik ve porozite değerlerinde önemli bir fark olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.24: Bağlayıcı Tipinin AGST Karışımlarının Geçirgenliğine Etkileri [8]

O: *açık granülometrili sürtünme tabakası (AGST)*

I: *birinci bağlayacı türü*

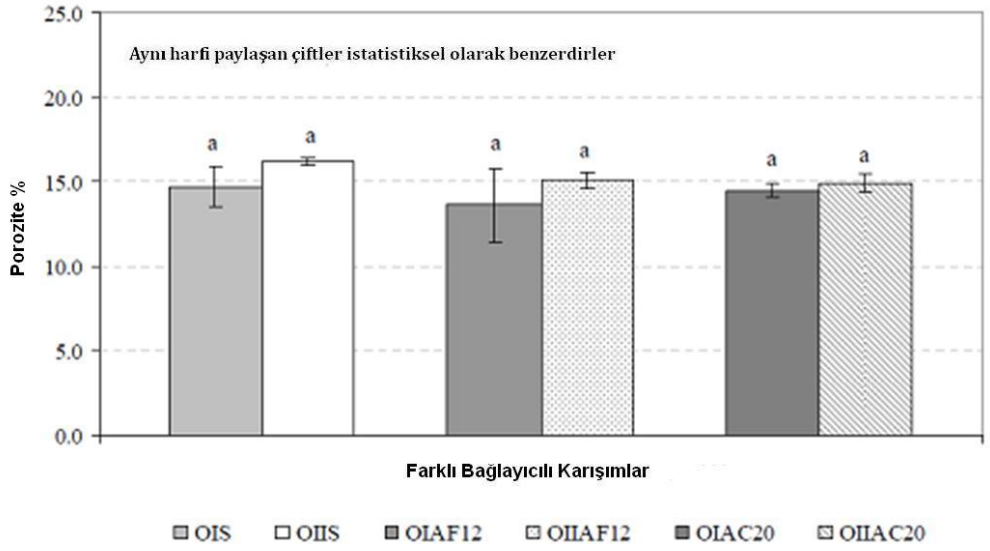
II: *ikinci bağlayacı türü*

A: *çevre sıcaklığında öğütme metodu (ambient method)*

F: *pürüzsüz kauçuk*

C: *pürüzlü kauçuk*

12 ve 20: *bağlayacıdaki %'de olarak kauçuk ağırlığı %12-%20*



Şekil 4.25: Bağlayıcı Tipinin AGST Karışımlarının Porozitesine Etkileri [8]

O: *açık granülometrili sürtünme tabakası (AGST)*

I: *birinci bağlayacı türü*

II: *ikinci bağlayacı türü*

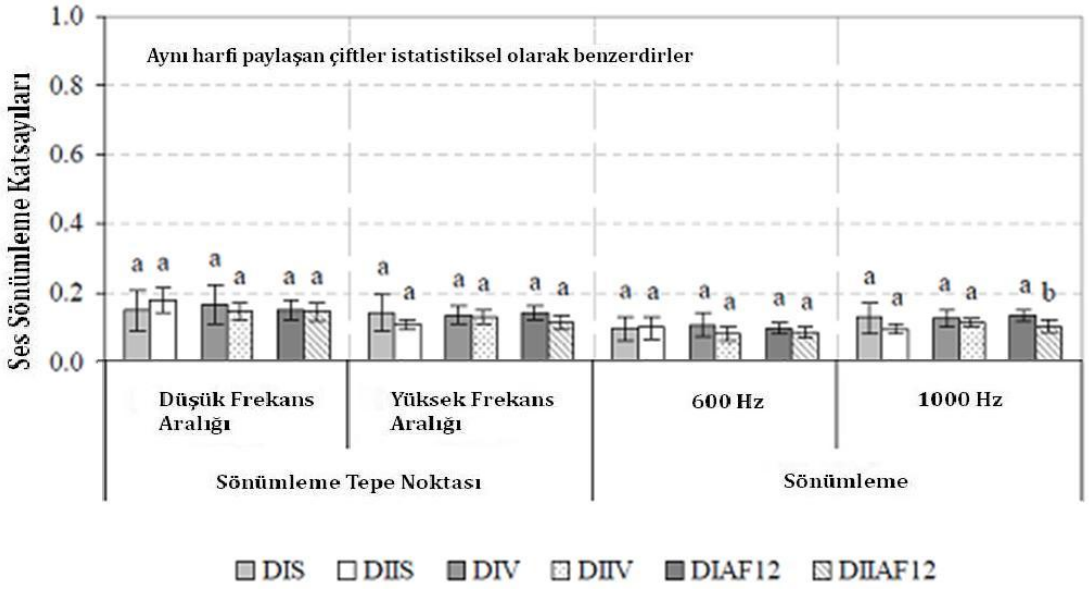
A: *çevre sıcaklığında öğütme metodu (ambient method)*

F: *pürüzsüz kauçuk*

C: *pürüzlü kauçuk*

12 ve 20: *bağlayacıdaki %'de olarak kauçuk ağırlığı %12-%20*

Şekil 4.26 bağlayacı kaynağının yoğun granülometrili karışımlar için ses sönümlemesinde bir etkisinin olmadığını göstermektedir



Şekil 4.26: Bağlayıcı tipinin yoğun granülometrili karışımlarının ses sönümlemesine etkileri [8]

D:*yoğun granülometrili karışım*

I: *birinci bağlayacı türü*

II: *ikinci bağlayacı türü*

S:*SBS modifiyeli bağlayacı*

V:*virgin bağlayacı*

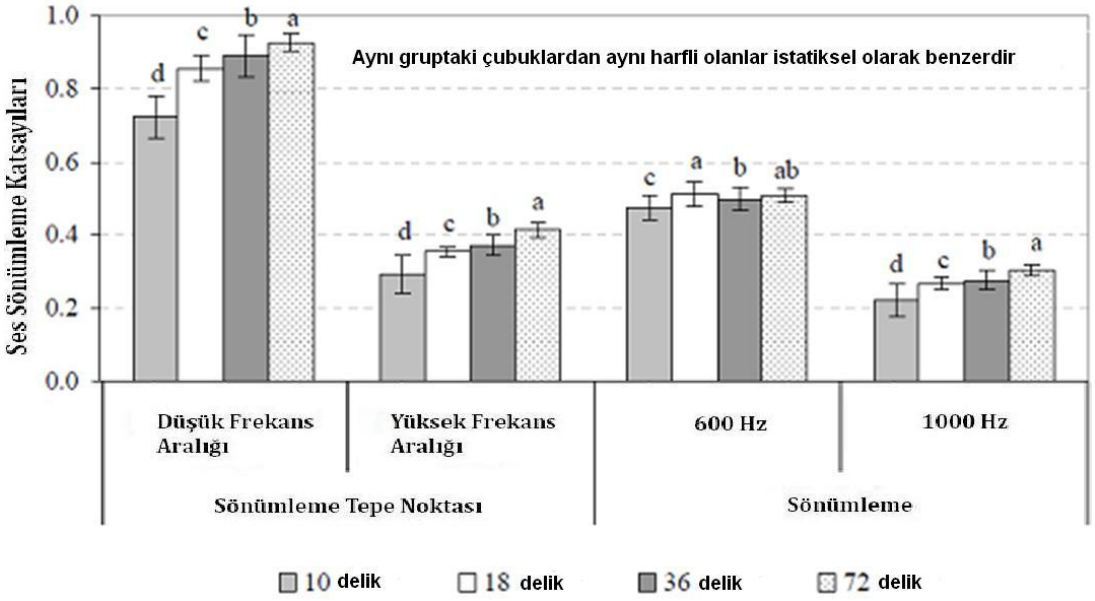
A: *çevre sıcaklığında öğütme metodu (ambient method)*

F: *pürüzsüz kauçuk*

4.5.1.8.1.3 Hava boşluk boyutunun etkileri

LSD analiz sonuçları hava boşluk boyutunun ses sönümlemesinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. **Şekil 4.27** 'de gösterilen sonuçlar aynı hava boşluk yüzdesine sahip örneklerde hava boşluk boyutu azaldıkça, ses sönümlemesinin arttığını ortaya koymuştur. Bunu aynı hava boşluk yüzdesine sahip örneklerde hava boşluk boyutunun azalması ile yüzey alanının artması ile ilişkilendirebiliriz. Ses

disklerden yayılırken boyutları enerji kaybetmektedir ve boyutları küçük olan deliklerden geçerken boyutları büyük olan deliklere göre daha fazla enerji kaybı meydana gelmektedir. Ses enerjisi, hava boşluk deliklerinden geçerken uğradığı direnim (sürtünme) nedeniyle azalmaktadır [8].

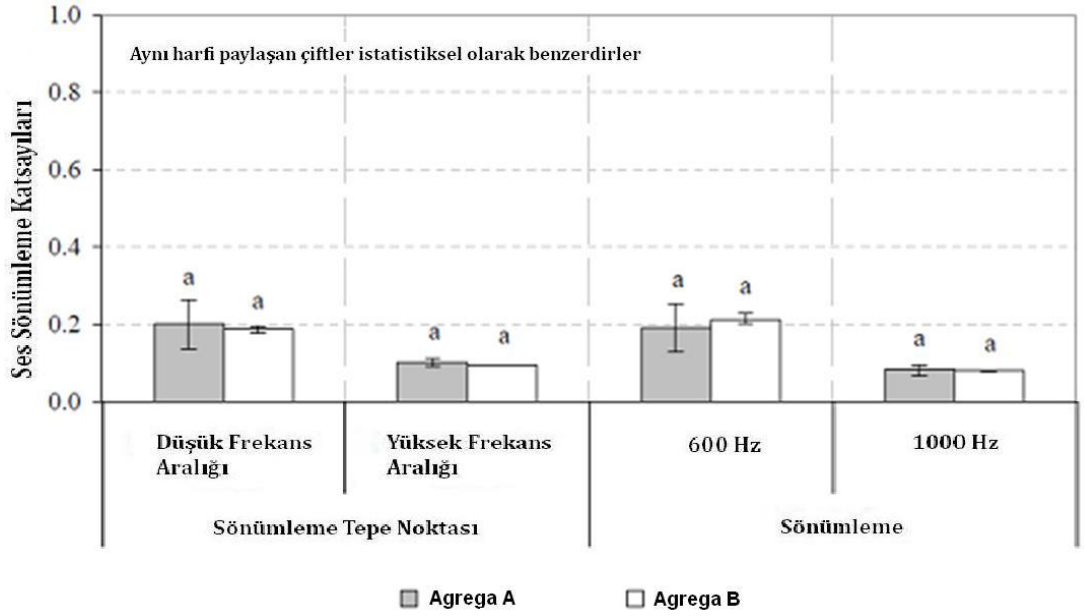


Şekil 4.27: Ses Sönümlemede Hava Boşluk Boyutunun Etkileri [8]

Diğer bir taraftan hava boşluk boyutunun geçirgenlik üzerinde pozitif bir etkisi vardır. Hava boşluk boyutu arttıkça geçirgenlikte artmaktadır.

4.5.1.8.1.4 Agrega tiplerinin etkileri

Bu çalışma süresi boyunca iki farklı agrega kaynağı kullanılmıştır ve sonuçlar agrega tipinin ses sönümleme katsayılarında direk bir etkilerinin olmadığını ortaya koymuştur. **Şekil 4.28** LSD analizleri kullanılarak oluşturulan grupların ses sönümleme sonuçlarını göstermektedir [8].



Şekil 4.28: Ses sönümlemede agrega tiplerinin etkileri [8]

Bununla birlikte eğer bu çalışmada hafif agrega kullanılmış olsaydı daha önce kaplama tasarımın gürültüye etkilerinde söz ettiğimiz gibi karışımın davranışında bir farklılık gözlemleyebilirdik. Agreganın mikro dokusu ses sönümlemesinde etkin olmasına karşı genellikle asfalt kaplamalarda hafif agrega kullanılmaz bu nedenle hafif agregaların akustik özelliklerini test etmek önemli değildir [8].

4.5.1.8.1.5 Yaşlanmanın etkileri

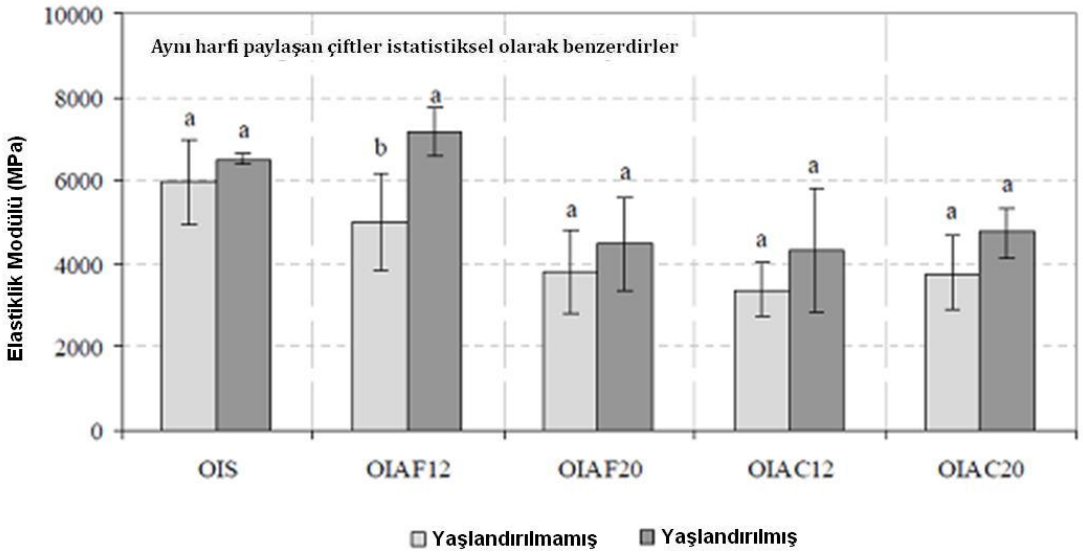
Bu çalışma sürecinde yapılan yaşlanma koşulları hava boşluk oranında artışa neden olmaktadır. Buna karşı kaplamada servis süresi boyunca oluşan yaşlanma davranışı AASHTO işlemlerine gerçekleştirmemektedir. Farklı açık granülometrili sürtünme yüzeyi karışımlarının LSD analizleri sonuçları yaşlandırılmış örneklerin ses sönümleme katsayılarının istatistiksel olarak yaşlandırılmamışlar ile benzer olduğunu ortaya koymuştur.

Eğer yoğun granülometrili karışımlarındaki yaşlanmanın etkilerini değerlendirirsek

LSD analizleri ses sönümlesinde yaşlanmanın önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.29 ve **Şekil 4.30**'da sırasıyla poroz ve yoğun karışımlar için yaşlanmanın elastikiyet modülüne (resillent modulus) etkileri gösterilmiştir. Yüksek elastikiyet modülü değerleri daha katı karışım olduğunun göstergesidir. Sonuçlar yaşlanmanın

elastikiyet modülü değerlerini arttırdığını göstermektedir. Bununla birlikte bu artış her kaplama tipinde kayda değer değildir. Yaşlanmanın etkileri daha çok poroz karışımlarda göze çarpmaktadır. Buna ek olarak elastikiyet modülü ve ses sönümlemesi arasında bir kolerasyon bulunmamıştır [8].



Şekil 4.29: Yaşlandırılmış ve Yaşlandırılmamış AGST Karışımlarında Elastikiyet Modülü

O: *açık granülometrili sürtünme tabakası (AGST)*

I: *birinci bağlayacı türü*

II: *ikinci bağlayacı türü*

A: *çevre sıcaklığında öğütme metodu (ambient method*)

F: *pürüzsüz kauçuk*

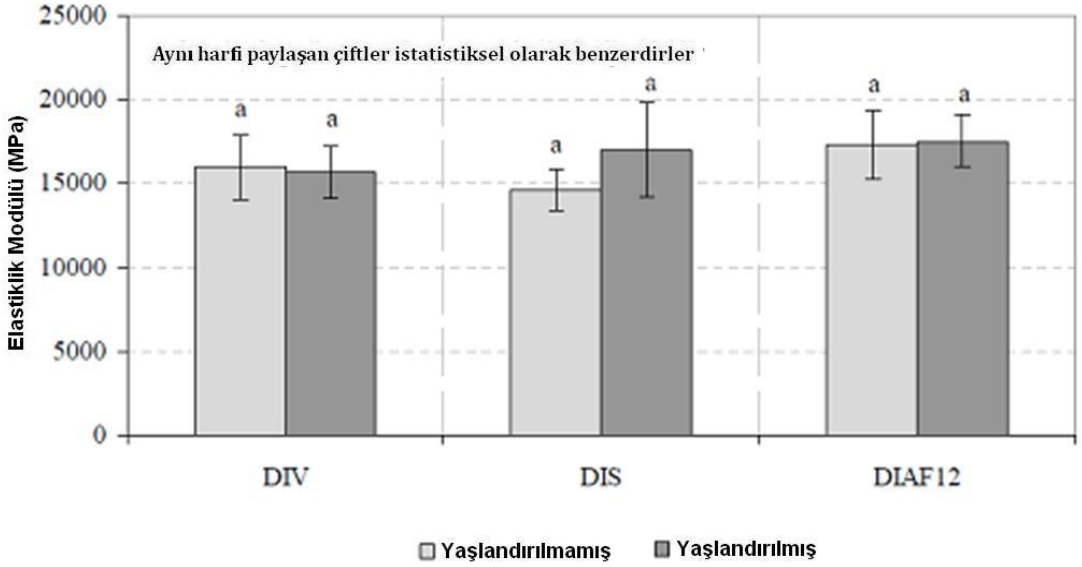
C: *pürüzlü kauçuk*

12 ve 20: *bağlayacıdaki %'de olarak kauçuk ağırlığı %12-%20*

1.1.1.1.1.1Granüle Kauçuk Konsantrasyounun vegranülometrisininEtkileri

Yaslanma karisimlarin hava bosluk oranini ve hacimsel özelliklerini yaslanmamis durumuna göre degistirdigi için bu bölümde sadece yaslandirilmamis örnekler incelenmistir. Bu bölümde bes yogun granülometrili karisim OIS, OIAF12, OIAF20, OIAC12 ve OIAC20 ve yedi tane de açik granülometrili sürtünme yüzeyi karisimi DIS, DIV, DIAF12, DIIS, DIIV, DIIAF12, ve DIIAF20. Sekil 4.31 poroz karisimlar

için ses sönümleme katsayilarini incelemektedir. Frekans artisiyla ses sönümle katsayilarindaki degisim açikça görülmektedir.



Şekil 4.30: Yaşlandırılmış ve Yaşlandırılmamış Yoğun Granülometri Karışımlarında Elastikiyet Modülü [8]

D: *yoğun granülometrili karışım*

I: *birinci bağlayacı türü*

II: *ikinci bağlayacı türü*

S: *SBS modifiyeli bağlayacı*

V: *virgin bağlayacı*

A: *çevre sıcaklığında öğütme metodu (ambient method)*

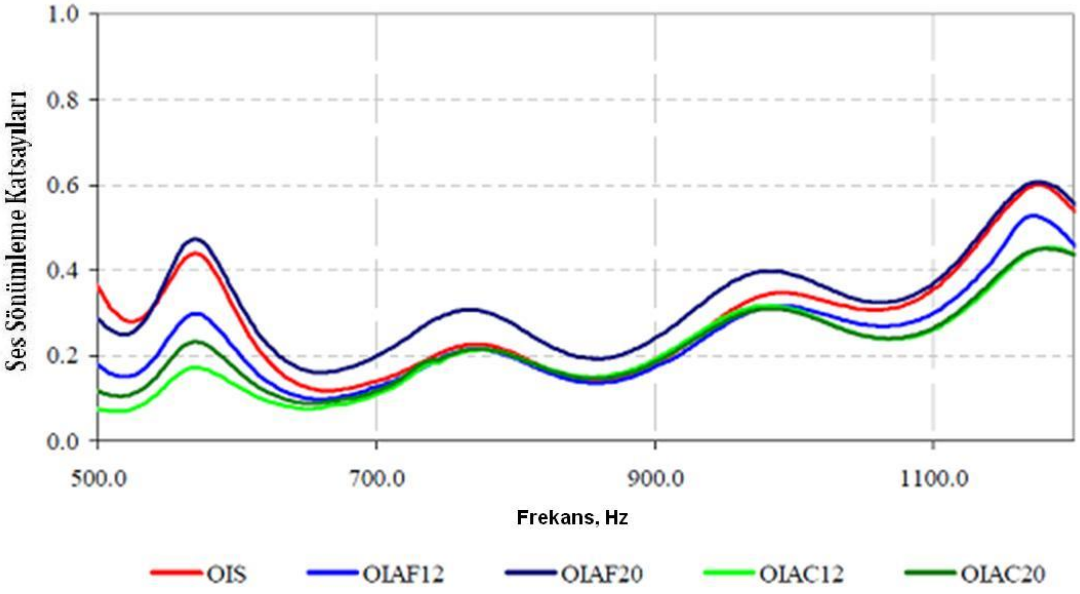
F: *pürüzsüz kauçuk*

12 ve 20: *bağlayacıdaki %'de olarak kauçuk ağırlığı %12-%20*

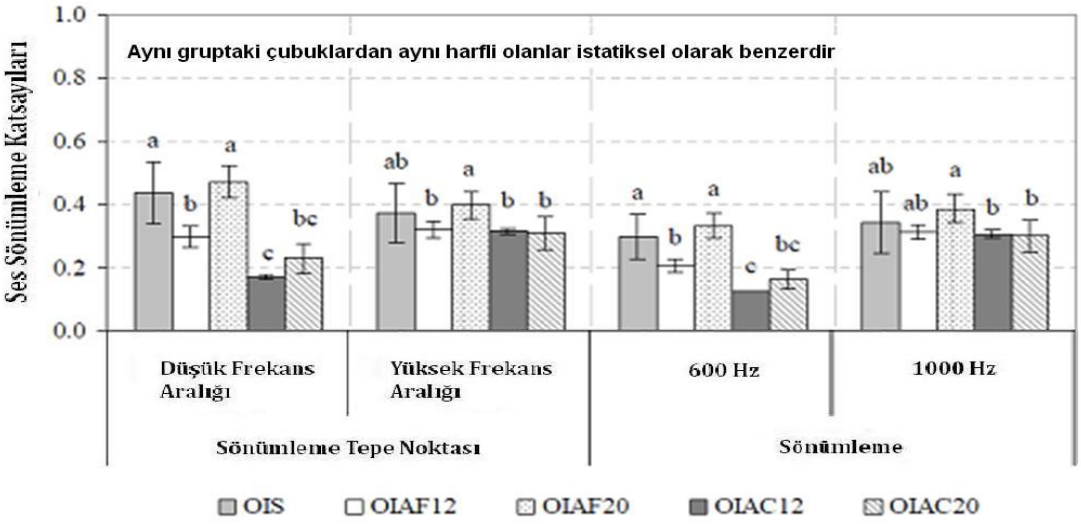
Şekil 4.32'de LSD analiz sonuçları gösterilmiştir. Analizler karışımlar arasında çarpıcı bir farklılık olduğunu ortaya koymuştur. Katsayıları ses sönümleme tepe noktasında ve düşük frekansta incelediğimizde

OIS ve OIAF20 en yüksek ses sönümleme değerlerini alırken OIAF12 ve OIAC20 onları takip eder ve en düşük değeri OIAC12 alır. Aynı gözlemler yüksek frekanstaki

tepe sönümlem noktası aralığında ve 600Hz ve 1000Hz' de sönümlemede de elde edilir.



Şekil 4.31:AGST ses sönümleme katsayısının frekanslardaki değişimi [8]



Şekil 4.32: Granüle Edilmiş Kauçuğun Granülometri ve Konsentrasyonunun AGST Karışımlarının Ses Sönümlemesine Etkileri [8]

O: *açık granülometrili sürtünme tabakası (AGST)*

I: *birinci bağlayacı türü*

II: *ikinci bağlayacı türü*

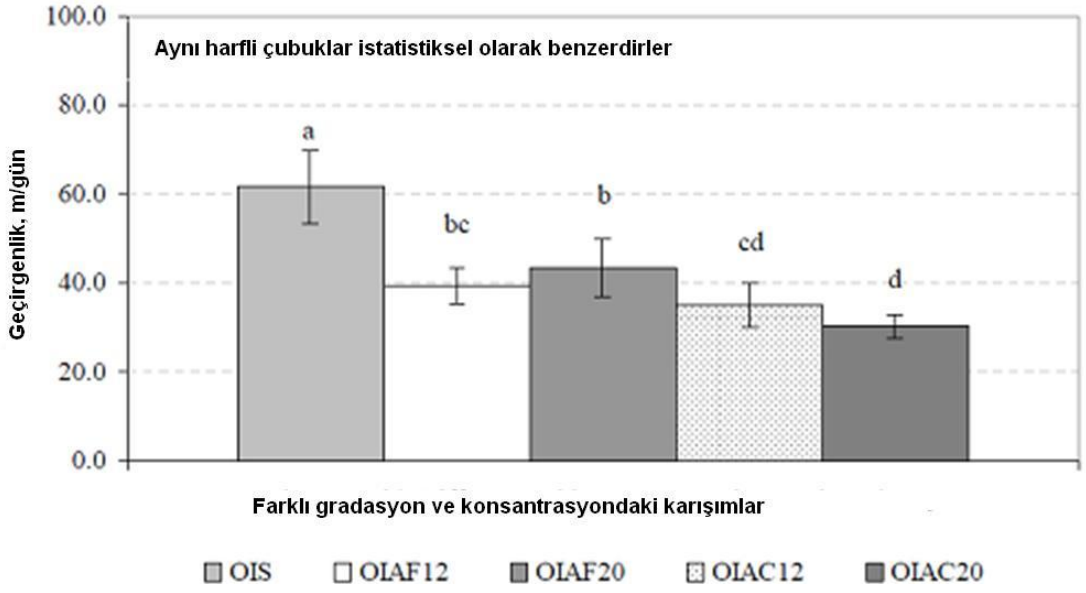
A: *çevre sıcaklığında öğütme metodu (ambient method)*

F: *pürüzsüz kauçuk*

C: *pürüzlü kauçuk*

12 ve 20: *bağlayacıdaki %'de olarak kauçuk ağırlığı %12-%20*

Karışımların geçirgenlik ve bağlayacı birleşenleri özelliklerinin ses sönümleme katsayı dereceleri kauçuk yüzdesi ve granülometrisina göre daha yüksektir. (**Şekil 4.33**)



Şekil 4.33: Granüle Edilmiş Kauçuğun Granülometri ve Konsentrasyonunun AGST Karışımlarının Geçirgenliğine Etkileri [8]

O= *açık granülometrili sürtünme tabakası (AGST)*

S=*SBS modifiyeli bağlayacı*

I= *birinci bağlayacı türü*

II= *ikinci bağlayacı türü*

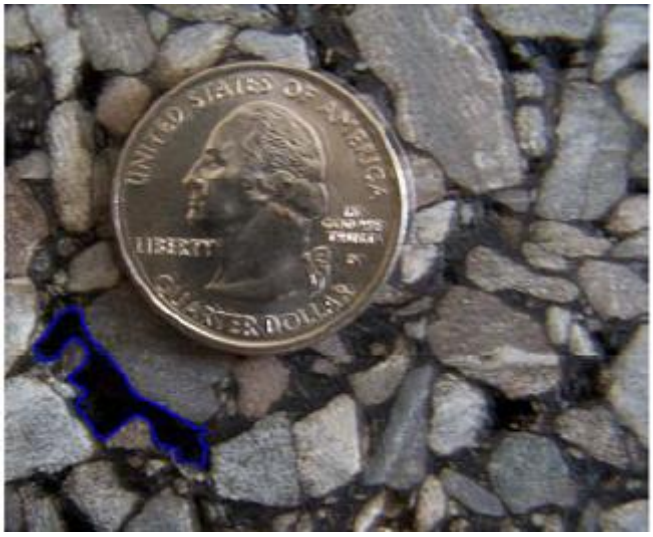
A= *çevre sıcaklığında öğütme metodu (ambient method)*

F= *pürüzsüz kauçuk*

C=*pürüzlü kauçuk*

12 ve 20= *bağlayacıdaki %'de olarak kauçuk ağırlığı %12-%20*

Birçok görsel tetkitten sonra granüle kauçuk parçalarının hava boşluk kanallarını tıkadıkları bunun sonucu olarak kauçuk içerikli karışımların geçirgenlik özelliklerinin düştüğü gözlemlenmiştir [8].



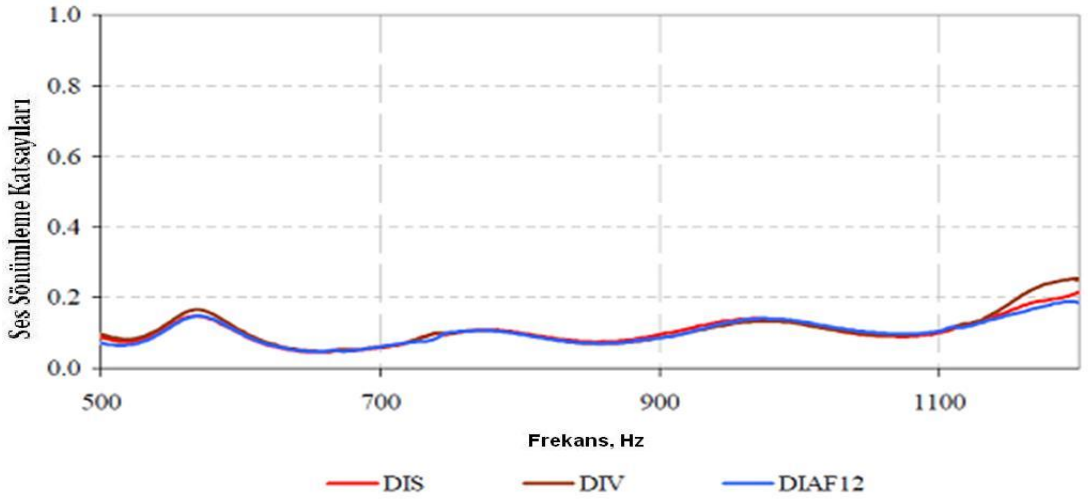
Şekil 4.34: Hava Boşluğu (SBS modifiyeli, bağlayacı I tipli AGST için) [8]



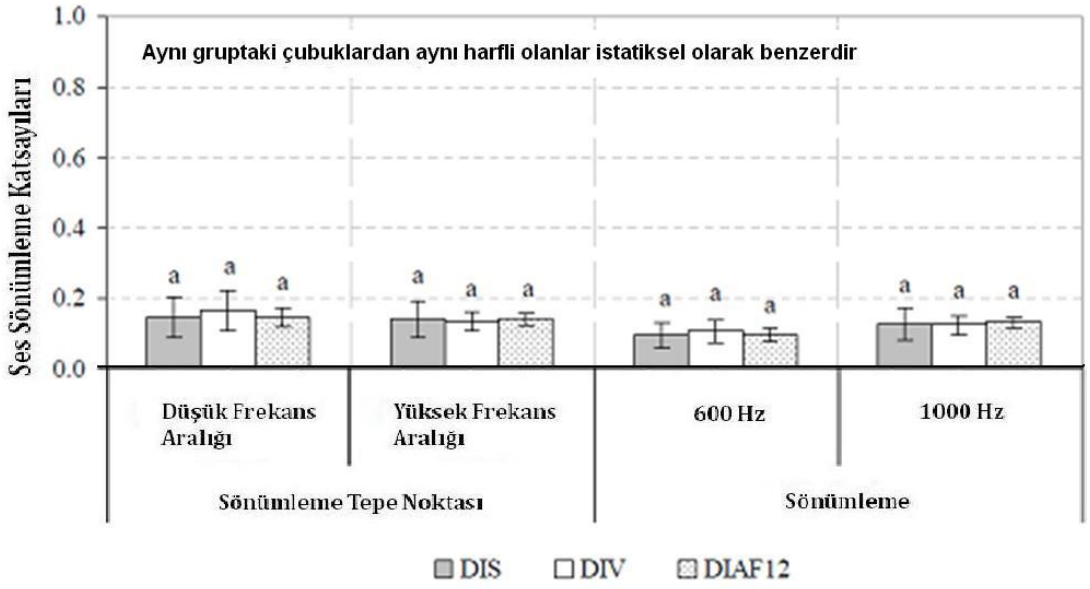
Şekil 4.35: Hava Akış Kanalları Tıkalı-Açık[8]

Şekil 4.36 Bağlayacı I ile hazırlanmış yoğun granülometrili karışımın ses sönümleme eğrisini göstermektedir. Yoğun granülometrili karışımların ses sönümleme performanslarını incelediğimizde genelde açık granülometrili sürtünme yüzeyi karışımlarına göre daha düşük seviyelerdedir.

Şekil 4.37 'de gösterilen sonuçlar granüle kauçuk işleminin ses sönümlemesinde etkili olmadığı gösterilmektedir.



Şekil 4.36: Frekans Değişiminlerinde Yoğun Granülometrili Karışımların Ses Sönümlemesi [8]



Şekil 4.37: Granüle Edilmiş Kauçuğungranülometrisininve Konsantrasyonunun Yoğun Granülometrili Karışımların Ses Sönümlemesine Etkisi [8]

D: *yoğun granülometrili karışım*

I: *birinci bağlayacı türü*

S: *SBS modifiyeli bağlayacı*

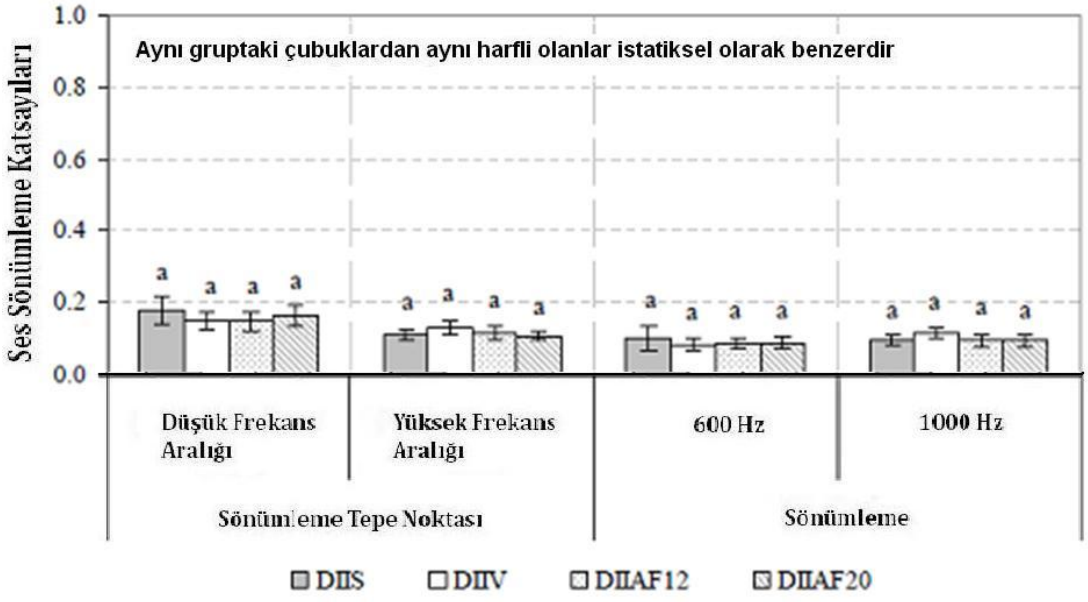
V: *virgin bağlayacı*

A: *çevre sıcaklığında öğütme metodu (ambient method*)

F: *pürüzsüz kauçuk*

12 ve 20: *bağlayacıdaki %'de olarak kauçuk ağırlığı %12-%20*

Şekil 4.38 daha önceki bulguları yoğun granülometrili karışımlarda granüle kauçuğun sessönümlemesinde bir etkisi olmadığını ortaya koymuştur.



Şekil 4.38: Granüle edilmiş Kauçuğungranülometrisinin ve Konsantrasyonunun %20 CRM İçeren Yoğun Granülometrili Karışımların Ses Sönümlemesine Etkisi [8]

D: *yoğun granülometrili karışım*

I: *birinci bağlayacı türü*

II: *ikinci bağlayacı türü*

S: *SBS modifiyeli bağlayacı*

V: *virgin bağlayacı*

A: *çevre sıcaklığında öğütme metodu (ambient method)*

F: *pürüzsüz kauçuk*

12 ve 20: *bağlayacıdaki %'de olarak kauçuk ağırlığı %12-%20*

4.5.1.8.1.6 Örneklerin kalınlığının etkisi

Kalınlığın etkileri daha önceki bölümlerde araştırılan kauçuk konsantrasyonu ve granülometrisin etkileri ile karşılaştırılır. **Çizelge 4.4** farklı karışımların poroz örnek kalınlıklarından nasıl etkilendiklerini tanımlamıştır.

Çizelge 4.4 : Açık Granülometrili Sürtünme Yüzey Karışımlarının Optimum Kalınlığı [8]

Karışımlar	Alçak Frekansta Sönümleme Tepe Noktası		Yüksek Frekansta Sönümleme Tepe Noktası		600 Hz için Sönümleme		1000 Hz için Sönümleme	
	RCG	Optimum Kalınlık (mm)	RCG	Optimum Kalınlık (mm)	RCG	Optimum Kalınlık (mm)	RCG	Optimum Kalınlık (mm)
OIS	A	64	AB	44	A	64	AB	89,64,44
OIAF12	B	64,44	B	44,25	B	64	AB	89
OIAF20	A	64	AB	44	A	64	A	89
OIAC12	C	44	B	25	C	64	B	89,64
OIAC20	BC	44	B	25	BC	64	B	89

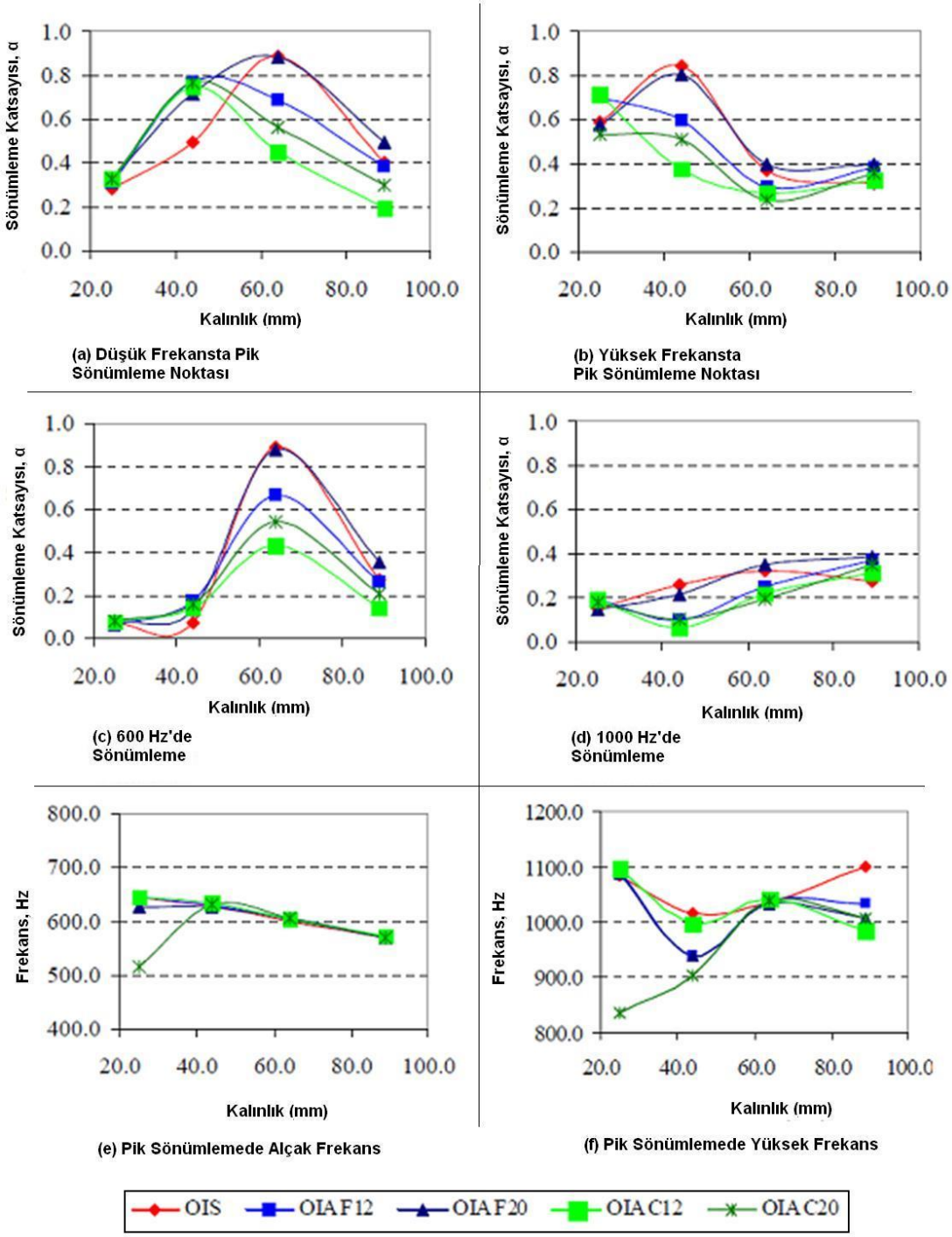
RCG: 89mm'lik numunenin LSD gruplandırması (kavuçuk gradasyonu ve konsantrasyonuna göre değişiklik gösteriyor)

Optimum kalınlığın yüksek ses sönümlemesi gerçekleştirdiğini göstermektedir. Sonuçlar düşük frekanslarda ses sönümleme tepe noktası için yüksek ses sönümleme grubunun optimum kalınlığının 64mm , düşük ses sönümlemem grubunun optimum kalınlığının 44mm olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte geçirgenlik azaldıkça optimum kalınlıkta azalmaktadır. Bununla birlikte ses sönümle katsayılarını 600Hz'de değerlendirdiğimizde sonuçlar optimum kalınlığın karışımların genelinde değişmediğini göstermektedir. Aynı gözlemleri 1000Hz'de değerlendirdiğimizde önemli değişimler olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak optimum kalınlık yüksek ses sönümlemesi sağlamaktadır.

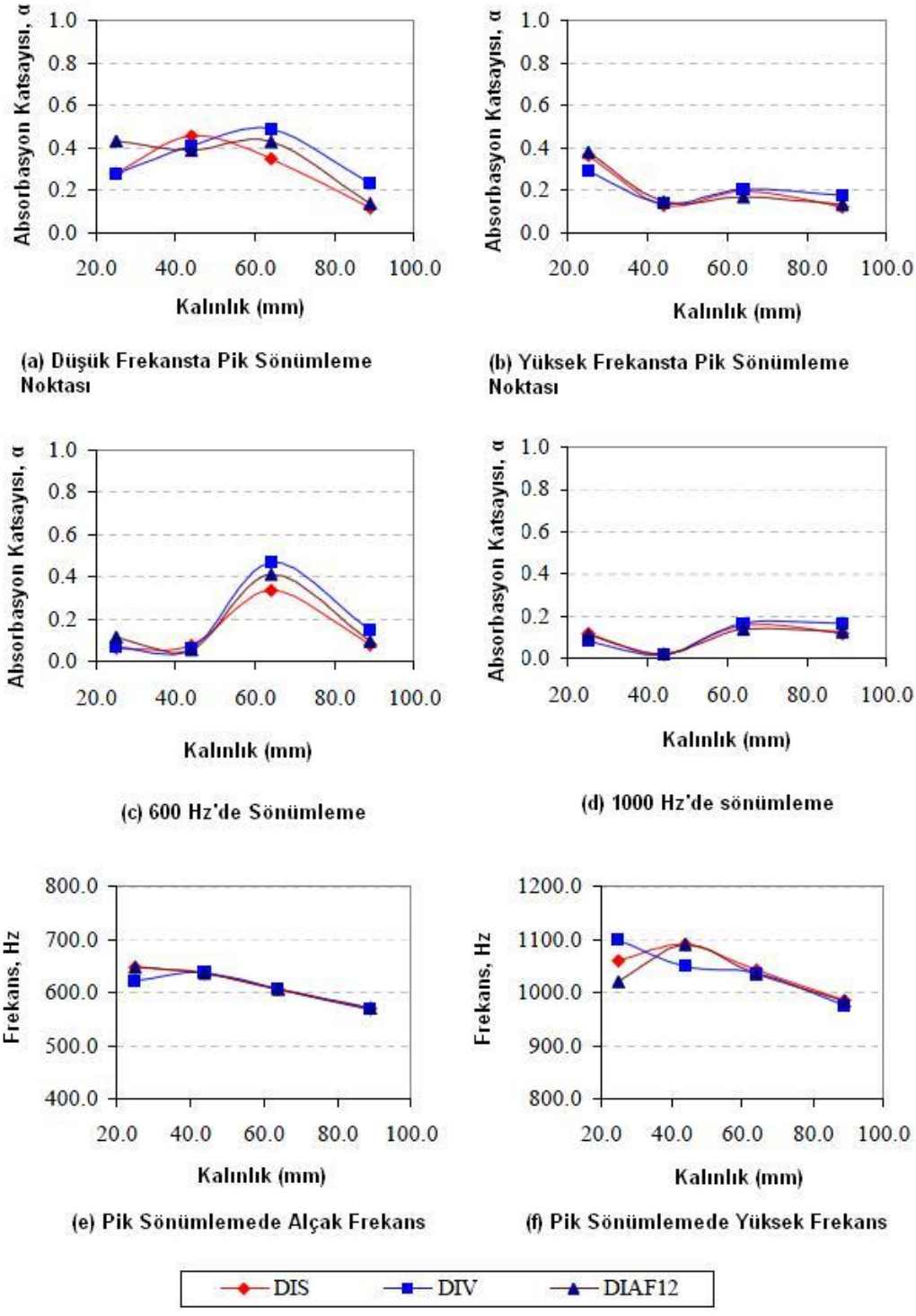
Sesin davranışı ile ilgili bulgular düşük frekanstaki seslerin kalın malzemeyi yüksek frekanstaki seslere göre daha kolay geçtiğini göstermektedir.Bunun nedeni düşük frekanslardaki sesin daha yüksek dalga boyutlarına sahip olmasından kaynaklanır. Bu nedenle yüksek ses sönümlemesi için yolun trafik hızına uygun optiumum kaplama kalınlığı tasarımı gerçekleştirilmelidir. **Şekil 4.39** her bir karışımın davraşını göstermektedir [8].

Sonuçlar yoğun granülometrili karışımlar için kalınlığı ses sönümlemesinde önemli bir etkisi olduğu sonucunu ortaya koymuştur. Ses sönümlesini göze olarak kaplama kalınlığının trafik hızına göre tasarlanması gerektiği ortaya çıkmıştır. Açık granülometrili sürtünme yüzey karışımlarının da düşük frekans aralığındaki

sönümleme tepe noktasının konumu aynı davranışları göstermektedir. Frekans yükseldikçe kaplama kalınlığı artmaktadır. Yüksek frekans aralığında ses sönümleme tepe noktasının konumu istatistiksel olarak aynı değerleri vermektedir. **Şekil 4.40** bu ilişkileri göstermektedir [8].



Şekil 4.39: Bir Karışımın Ses Sönümleme Katsayısına Kalınlığın Etkisi



Şekil 4.40:Örneklerin Kalınlığının Yoğun Granülometrilarının Akustik Özelliğine Etkisi[8]

4.5.1.8.2 Deney sonuçlarının özeti

- Poroz karışımların ses sönümleme değerleri yoğun granülometrili karışımlara göre daha yüksektir. Bu davranışı geçirgenlik ile ilişkilendirebiliriz. Poroz karışımlar yoğun granülometrili karışımlara göre geçirgenlik özellikleri daha yüksektir.

- Bu projede kullanılan bağlayacı kaynağının ses sönümlemesindeki etkileri kayda değer değildir.

- Atık lastiğin granüle etme metotlarının (ambient ve cryogenic) ses sönümlemesinde herhangi bir önemli etkileri olmadığı sonucu ortaya çıkmıştır. Bu karışımlar için optimum bağlayacı içeriği farklılık göstermediğinde hava boşluk oranı ve geçirgenlik özelliklerinin arasında önemli bir fark yoktur.

- Enerji sönümleme malzemesi olarak adlandırılan granüle kauçuğun ses sönümlemesinde konsantrasyonunun ve granülometrisinin bir etkisinin olmadığı sonucu ortaya çıkmıştır.

- Granüle kauçuğun malzemenin geçirgenliğinde etkisi vardır. Sonuçlar aynı agrega granülometrisina sahip karışımlarda granüle kauçuk katkılı karışımların geçirgenliğinin daha düşük olduğunu göstermiştir. Bunun nedeni granüle kauçuk parçalarının hava geçiş kanallarını tıkamasıdır. Bu nedenle granüle kauçuk modifiyeli karışımların şartnameleri, daha geniş hava geçiş kanalları sağlayarak geçirgenliğin düşmesini önleyen ve ses seviyesini düşüren süreksiz granülometrili agregaların kullanılmasını önermektedir.

- Granüle kauçuk kullanımı genelikle daha yüksek bağlayacı içerği kullanılmasını neden olur. Eğer agrega granülometrisi geçirgenlik özelliklerine uygun olarak modifiye edilmezse kaplamanın ses sönümleme değerlerinde düşmeler meydana gelir.

- Hava boşluk boyutlarının küçük olması ses sönümleme değerlerini arttırmaktadır. Ses enerjisi küçük boyutlu deliklerden geçerken büyük deliklere göre daha fazla enerji kaybetmektedir. Bunun nedeni ses dalgalarının hava boşluk deliklerinden geçerken uğradığı sürtünme direncidir. Bununla birlikte kaplamanın geçirgenlik özelliği hava boşluk deliklerinin boyutlarını küçültürken yüksek seviyede tutulmalıdır.

- Yoğun granülometrili karışımların kalınlıklarının ses sönümlemesinde etkileri vardır. 50km/s hızındaki düşük hızlı yollar için optimum kalınlık yüksek ses sönümlemesi sağlamaktadır. Örneğin Güney Karolina'daki düşük hızlı yollarda yüksek ses sönümlemesi değeleri elde etmek için optimum kaplama tabakası kalınlıkları 44mm ile 64mm arasındadır. Bununla birlikte hız arttıkça kaplama kalınlığı düşürülerek yüksek ses sönümlemesi sağlanmaktadır.

- Açık granülometriye sahip sürtünme yüzeyi karışımları gibi poroz karışımların da ses sönümlemesinde etkileri vardır. Yoğun granülometrili karışımlarda olduğu gibi düşük hızlı yollarda optimum kaplama kalınlığı yüksek ses sönümleme değerleri vermektedir. Gene Güney Karolina'da açık granülometrili sürtünme yüzey karışımlı kaplamalarda düşük hızlı trafikte yüksek ses sönümleme değerleri elde etmek için kaplama kalınlıkları 44mm ile 64mm arasındadır.

- Açık granülometrili sürtünme yüzey karışımları gibi poroz karışımlar için kaplamanın geçirgenliğindeki değişim ses sönümlemesine etki etmektedir. Geçirgenlik seviyesini yükseltmek için kaplamaların kalınlığının arttırılması tavisye edilir. Bununla birlikte düşük geçirgenlik kaplama kalınlığı düşürüp yüksek ses sönümleme katsayıları sağlar.

- Yoğun granülometriye sahip karışımların kalınlıklarının da (85km/s) hızındaki yüksek hızlı yollardaki ses sönümlemesinde etkileri vardır. Örneğin Güney Karolina'da yüksek hızlı yollarda yüksek ses sönümleme seviyelerin sağlanması amacıyla kaplama kalınlıkları 25mm olarak tasarlanır.

- Poroz kaplamaların kalınlıklarının da 85km/s gibi hızlı yollar için ses sönümlemesinde etkileri vardır. 25mm ve 44mm kalınlıklarındaki kaplamalar yüksek hızlı yollar için yüksek ses sönümleme değeleri vermektedir. Bununla birlikte araştırmalar kaplama kalınlığının düşmesi ile ses sönümleme değerlerinin arttığını göstermektedir.

- Sonuçlar ses sönümleme katsayıları ile geçirgenlik arasında önemli bir kolerasyon olduğunu ortaya koymuştur. Geçirgenliğin yükselmesi ile ses sönümleme değerleri de yükselmektedir. Eğer yüksek ses sönümleme katsayıları arzu ediliyorsa yüksek geçirgenlik değerleri tavsiye edilmektedir [8].

5. TÜRKİYEDEKİ DURUMA GENEL BAKIŞ

5.1 Giriş

Ülkemizde 1950'li yıllardan itibaren hızla artan karayolu metrajı beraberinde araç sayısını arttırmıştır. 2010 Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK) verilerine göre ülkemizdeki motorlu taşıt sayısı 15.095.603 adettir. Bunun yanında asfalt üretim kapasiteleri ve plentlerinin sayısı da hızla artmıştır. Asfalt Müteahhitleri Derneği'nin (ASMUD) 2006 raporuna göre 2006 Tüpraş bitüm üretim miktarı 2.179.000 tona ulaşmıştır. Türkiye'de asfalt işlerini üstlenen 180 civarında firma vardır ve bu firmaların %50'si büyük ölçekli olup genel müteahhitlik hizmetleri vermektedir [34].

Bunlara paralel olarak ömrünü tamamlamış lastik (ÖTL) sayısı da hızla artmaktadır. Tüm dünyada ve ülkemizde yakın geçmişte çeşitli çevre ve sağlık kuruluşlarının yaptığı araştırmalar doğrultusunda ÖTL'lerin zararları ortaya konmuş ve bu atıkların çevre ve insan sağlığı açısından devlet tarafından kanun ve yaptırımlarla yönetilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Bu bölümde öncelikle Türkiye'de açığa çıkan ÖTL miktarları, bunların imhası veya yeniden değerlendirilmesi ile ilgili dünya eksenine paralel olarak Türkiye'de de yayınlanan yasa ve mevzuatlar ele alınarak sektörün konuya bakış açısı verilmektedir. Daha sonra konumuzun odak noktası olan atık lastiklerin yol yüzey kaplamalarında kullanılmasının faydaları önce performansları bakımından, sonrasında ise ses ve gürültü bakımından diğer mevcut bir çözüm olan ses perdeleri ile kıyaslanarak, kullanılabilirliği ve maliyet unsurları incelenmektedir.

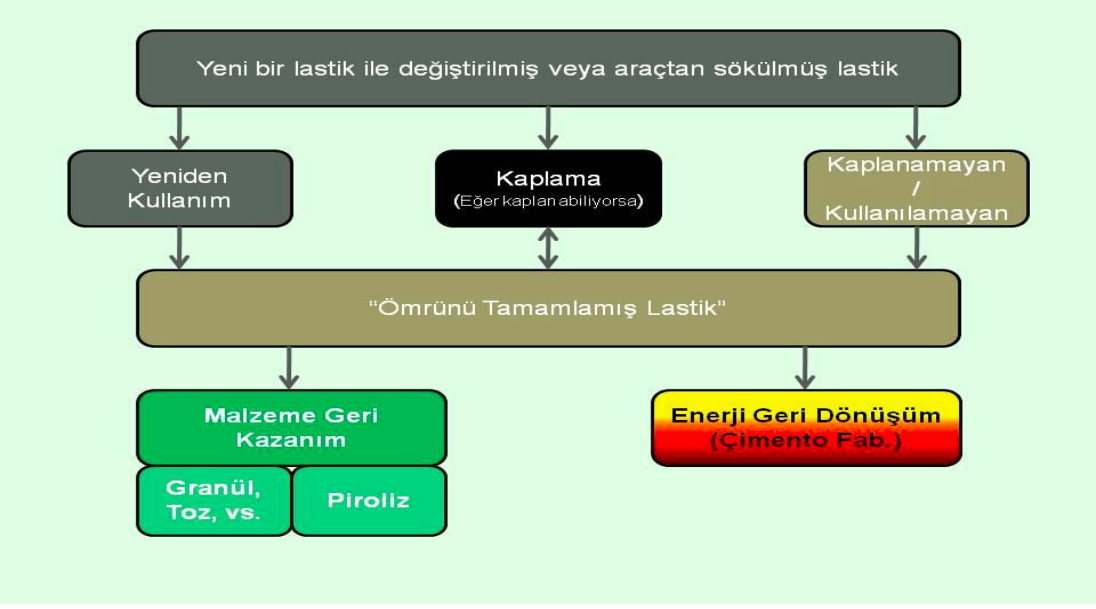
5.2 Türkiye'deki Kullanılmış Lastiklerin Mevcut Durumu.

Lastik Sanayicileri Derneği LASDER'in elde ettiği verilere göre Türkiye'de her sene yaklaşık 180 ile 200bin ton ÖTL açığa çıkmaktadır. Bu lastiklerin geri kazanımı veya geri dönüşümü ise gerek ekonomik gerekse çevre açısından çok önemlidir [35].

Lastiklerin diş derinliği araç sürüşüne tehlike arz edecek seviyenin altına indikten sonra değiştirilmeli veya kaplanmalıdır. Kaplamanın mümkün olmadığı durumlarda araçlardan çıkan lastikler ülkemizde kıyı şeridimiz çokluğu nedeniyle öncelikli olarak iskeleler, bot siperleri, kıyı stabilizasyonu vb. gibi deniz uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunların dışında; çizme ve ayakkabı tabanı imalatında, koltuk ve sandalye alt malzemesi olarak, oyun alanlarında ve cadde bariyerlerinde yeniden kullanım alanı bulmaktadır.

Tekrar kaplama uygulamaları için ülkemizde 2001 senesi verilerine göre 40-50 kadar orta / büyük ölçekli ve yaklaşık 450 kadar atölye şeklinde faaliyet gösteren küçük ölçekli lastik kaplama tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin senelik kaplama hacimleri yine 2001 verilerine dayanarak yaklaşık olarak 600.000 adettir. Yeniden kaplama işlemi genelde kamyon ve otobüs lastiklerine uygulanır. Bu sayede lastikler ÖTL olmadan önce tekrar kullanılarak ham made ve enerjiden tasarruf sağlanırken çevrenin korunmasına yardımcı olunmuş olur [36].

Yeniden kaplanamayan veya kaplandıktan sonra tekrar kullanımlardan sonra ömrünü tamamlayan lastikler ya enerji kazanımı ya da malzeme geri kazanımı için 3. bölümde anlatılan çeşitli işlemlerden geçerler. Ülkemizde ÖTL'lerin bir kısmı çimento fabrikalarında enerji üretmek için kullanılmakta iken geri kalan kısmı ise granül, toz vs. haline getirilir veya pirolize edilmektedir. **Şekil 5.1** bu işlem akışını anlamaya yardımcı olmak için verilmiştir.



Şekil 5.2: Atık Lastik Kullanım Döngüsü [35]

5.3 Mevzuatlar, Yönetmelikler ve Stratejiler

5.3.1. Mevzuat ve yönetmelikler

Atık lastiklerin çevreye ve insan sağlığına olan zararlarını azaltmak ve geri kazanımlarını sağlamak amacı ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2006 senesinde "Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği" yayınlanarak bu konu resmi çerçevede devletin çevre politikalarından birisi haline getirilmiştir [37].

Bisiklet ve dolgu lastikleri dışındaki ömrünü tamamlamış tüm lastikleri kapsamı içine alan bu yönetmeliğin 5. Maddesinde ÖTL'lerin geri kazanılması, ithalatının engellenmesi gibi genel ilkelere değinilmiştir. Aynı maddede ÖTL'lerin ihracatı ile ilgili olarak Bazel Sözleşmesi esaslarının uygulanacağı belirtilmiştir.

Yönetmeliğin ikinci bölümü; bakanlık, il çevre ve orman müdürlükleri, belediyeler, lastik üreticileri, lastik kaplamacıları, geri kazanım tesisleri, yetkili taşıyıcılar ve geçici depo işletenlerin yükümlülüklerini ve görevlerini detaylı bir şekilde anlatmaktadır. Ayrıca kota uygulamaları ve bunlarla ilgili sorumluluklar da 17. maddede detaylı olarak belirtilmiştir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından ilk defa 1993 senesinde ortaya konan Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği [38] gerçekleştirilmesi planlanan projelerin çevreye olabilecek olumlu ya da olumsuz etkilerinin belirlenmesinde, olumsuz yöndeki etkilerin önlenmesi ya da çevreye zarar vermeyecek ölçüde en aza indirilmesi için alınacak önlemlerin, seçilen yer ile teknoloji alternatiflerinin belirlenerek değerlendirilmesinde ve projelerin uygulanmasının izlenmesi ve kontrolünde sürdürülecek çalışmaların tümünü kapsar. Bakanlık tarafından Haziran 2009'da yayınlanan ÇED Rehberi - Karayolları, karayolu projeleri için uygulanacak ÇED süreci hakkında bilgi vermek amacıyla hazırlanmıştır. Bu rehberde mevcut kanun ve yönetmelikler göz önüne alınarak karayolları projeleri için dikkate alınması gereken alternatifler sunulmuştur. Bu alternatifler proje, tasarım, güzergah ve eylemsizlik başlıkları altında toplanmıştır. Rehberin tasarım alternatifi bölümünde karayolu kaplama malzeme seçimi üstünde durularak alternatif malzeme seçiminin gürültüyü azaltıcı bir etmen olduğu vurgulanmıştır. Rehberin son kısmında ise gürültü, karayolunda gürültüye neden olan faktörler (araçlar, araçlar ile yol yüzeyi arasındaki sürtünme, sürücü davranışları ve yapım, bakım maliyetleri) ve bu faktörleri azaltacak önlemlere detaylı bir şekilde değinilmiştir. Tasarım alternatifleri

kısmındaki yol kaplama malzemesi seçiminin yanı sıra gürültü perdeleri inşasının en önemli gürültü sönümle çözümlerinden biri olduğu vurgulanmıştır. Bu iki çözüme ek olarak; mimari tasarımlar ve peyzaj uygulamaları, araç emisyonlarının kontrolü, hız sınırlarının düşürülmesi, yolların bakımı, uygun güzergah seçimi, makine kullanımının ve çalışma saatlerinin kontrol edilmesi ve zaman kısıtlaması (gece inşaat çalışması yapılmaması gibi) diğer çevresel etkileri azaltıcı önlemler sıralanmıştır. Sıralanan bu önlemlerin birbiriyle bağlantılı oldukları ve mümkün olduğunca birlikte kullanılmalı gerektiği tavsiye edilmiştir [39].

Kauçuk Modifiye Bitümler ve Kauçuk Asfalt Karışımlarına Ait Teknik Şartname Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından tezin yazıldığı tarih itibari ile hazırlanıp ve bölgelere dağıltılmış olmasına karşın birim fiyat cetvelleri tamamlanmadığı için ihale aşamalarında daha kullanılmamaktadır. Bu şartname, penetrasyon sınıfı belirli bitümlere belli oranlarda, lateks, öğütülmüş atık lastiklerden üretilen kauçuk esaslı ürünler gibi maddelerin katılarak, modifiye edilmesi ile üretilen kauçuk modifiye bitümleri ve atık lastiklerden üretilen kauçuk esaslı granül ürünlerin bitümlü karışımına eklenmesi ile hazırlanan Kauçuk Asfalt Karışımlarına ait özellikleri kapsamaktadır. Şartnamenin ikinci bölümünde kauçuk modifiye bitümün seçimi, hazırlanması, depolanması, teslimi, kabulü ve günlük kalite kontrolü, kullanılması, müteahhitin sorumluluğu hakkında detaylar verilmiştir. Üçüncü kısımda ise karışımlar, karışımları modifiye edici maddeler, karışımların kullanım yerinin seçimi, karışımların özellikleri üstünde durulup son kısımda ise garanti şartları hakkında bilgi verilmiştir.

5.3.2. Stratejiler

T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü'nün hazırladığı 2007-2011 Stratejik Plan'a göre Hedef 2.2.3. de belirtildiği üzere 15.000 km yeni bölünmüş yol yapılması planlanmıştır. Hedef 2.2.6. da ise " YOGATT (Yıllık Ortalama Günlük Ağır Taşıt Trafiği) yüksek olan yollar IRI (International Roughness Index) (Uluslararası Yüzey Düzgünsüzlüğü) indeksine bağlı önceliklere göre BSK (Bitümlü Sıcak Karışım) kaplamalı hale getirilecek, mevcutların yenilenmesi ve büyük onarımları yapılacaktır" denilmiştir [40].

Aynı Stratejik Planı'ın "Amaç 5" başlığı altında İnsan ve Çevreye Duyarlılık hedefleri verilmiştir. Hedef 5.2 altında "2007 Yılından İtibaren Karayolu

Projelendirmesi ÇED (Çevresel Etki Değerlendirme) Çalışmalarında Yer Alan Çevre Koruyucu Önlemlerin (Gürültü Azaltıcı Önlemler, Rezervi Bitmiş Ocakların Rehabilitasyonu vb.) Uygulanması Sağlanacaktır." denilmiştir. Aynı hedefin alt başlıklarında sırasıyla; Çevre konusunda AB mevzuatına göre uyumlulaştırılan veya yeni oluşturulan mevzuatlara uyulacağı, karayollarının bulunduğu bölgelerin nüfus yoğunlukları ve şikayetler göz önüne alınarak gürültü azaltıcı önlemler alınacağı, karayolları personelinin gürültü ile ilgili mevzuata göre eğitim alıp sertifika almalarının sağlanacağı, gürültü ile ilgili model planların teşkilatlarca temin edilip eğitimlerinin verileceği, ses ölçüm cihazlarının temin edilerek gerekli ölçüm ve hesapların gerekli eğitimler verilerek yapılması olarak belirtilmiştir [40].

5.4 Sektörün Uyum Sürecinden Beklentileri

ASMUD'ün 2006 raporunda, sektörün AB'ye uyum sürecinde sorumluluklarının arttığı belirtilmiştir. Sektör bu süreçten; çevre, sağlık ve güvenlik konularına daha fazla önem verilerek yolların çevreye uyumlu olmasını, daha sessiz ve yüksek performanslı yeni tip asfalt kaplamalarının yaygınlaşmasını, malzeme ve enerji kaynağı tüketimini azaltıcı yüksek teknolojilerin uygulamalarının artmasını, asfalt endüstrisinde kalite güvence ve sertifikasyona önem verilmesini, müteahhitlere daha fazla sorumluluk verilerek sektörün gelişimine katkı sağlanmasını ve yol performansının düşmesine, maliyetin artmasına ve inşat süresinin uzamasına neden olan sebeplerin ortadan kaldırılmasını beklemektedir. Aynı raporda Türk asfalt firmalarının mevcut durumda uluslararası firmalarla rekabet potansiyellerine değinilmiş ve bu firmaların yeniliklere kolayca adapte olabilir hatta öncülük edebilir nitelikte oldukları belirtilmiştir [34].

5.5 Türkiye'de Yapılmış Çalışmalar ve Uygulamalara Örnekler

5.5.1. Geri dönüştürülmüş lastik Aaıklarının bitümlü sıcak karışımların performansına etkisinin Tübitak ve İsfalt tarafından incelenmesi

2010 yılında İSFALT A.Ş. ve TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü tarafından ortak olarak yürütülen proje kapsamında geri dönüştürülebilir atık lastiklerin sıcak asfalt karışımlarında kullanım şartları belirlenmiş, geleneksel asfalt karışımı ve geri dönüştürülmüş lastik atıklarıyla hazırlanmış asfaltın performans kıyaslaması

yapılmıştır. Ülkemizde endüstriyel boyutta, lastik atıklarının sıcak asfalt üretiminde kullanılmasına yönelik ilk uygulama olması da bu açıdan bu uygulamayı değerli kılmaktadır.

Bu ugulama kapsamında öncelikle lastik atıkları kırılıp elenerek fiziksel ve kimyasal karakterizasyonları yapılmıştır. Daha sonra bu atıklarla hazırlanan sıcak asfalt karışımlarında bitüm miktarı belirlenmiş, bitümün fiziksel ve kimyasal analizleri yapılarak agrega gredasyonu tesbit edilmiştir. Bu karışım tasarımı işlemi sonrasında üretilen biriketlere asfalt performans deneyleri uygulanmıştır. Lastik katkılı asfaltın dolaylı çekme muavemeti değerlerinin 25°C ve 40°C deki sıcaklılarda geleneksel asfalta göre önemsenmeyecek miktarda düşük olduğu görülmüştür. Diğer bir performans deneyi olan tekerlek izi deney sonuçları karşılaştırıldığında ise lastik katkılı asfaltın geleneksel asfalta göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür [41].

Çizelge 5.1 : Geleneksel Asfalt ile Granül Otomobil Lastiği Katkılı Asfaltın Tekerlek İzi Deney Sonuçlarının Karşılaştırılma [41]

Asfalt Tipi	**Laboratuvarda hazırlanan numune**	**Yoldan alınan karot numunesi**
Geleneksel asfalt	3.51 mm	3.88 mm
Granül otomobil lastiği katkılı asfalt	2.58 mm	2.06 mm

5.5.2. Geri dönüştürülmüş lastik atıklarının bitümlü sıcak karışımların performansına etkisinin TCK tarafından incelenmesi

Karayolları Genel Müdürlüğü ile Barya İnş. Mak. Tarım Otomotiv San. İç ve Dış Tic. Ltd. Şti. arasında 08.11.2010 tarihli ve "Türk Akreditasyon Kurumu onaylı **(Ek:1)** TECROAD katkı malzemesi ile bir yol kesiminde deneme kesimi yapılması konulu" protokole istinaden Gerede - Karabük Yolu 15. km Bolu güzergahında yaklaşık 1.5 km'lik bölümüne 180°C sıcaklıkta 50/70 bitüm cinsli %6.3 bitüm oranlı %35-40 kauçuk içerikli granül bitüm kullanılarak serim yapılmıştır. Bu serimin 24 numuneli karot sıkıştırma deneyleri yapılarak ortalama 2.2g/cm^3 yoğunluk ve 41.1 mm yükseklikte %96.3 sıkıştırma oranı elde edilmiştir [42].

5.6 Atık Lastik Katkılı Asfalt Kaplamasının Ses Perdelerinin Maliyetinin Azaltılmasına Katkısı

Karayolu kaynaklı gürültüyü azaltmak amacı ile uygulanan yöntemlerden birisi de gürültü perdeleridir. 2010 senesi Haziran ayında Resmi Gazete'de yayınlanan "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" (Resmi Gazete, Sayı 27601) uyarınca kara yolu çevresel gürültü sınır değerlerinin (Şekil 5.3.) aşıldığı yollarda yönetmelikte belirlenen esaslar çerçevesinde lüzum görüldüğü takdirde yol kenarlarına TSEN 1793-1, TSEN 1793-2 ve TSEN 1793-3 standartlarına uygun olarak gürültü perdeleri konulabileceği belirtilmiştir [43].

Çizelge 5.2 : Kara Yolu Çevresi Gürültü Sınır Değerleri [Resmi Gazete, Sayı: [27601]

Alanlar	Planlanan/Yenilenmiş/Onarılmış yollar			Mevcut yollar		
	$L_{gündüz}$ (dBA)	$L_{akşam}$ (dBA)	L_{gece} (dBA)	$L_{gündüz}$ (dBA)	$L_{akşam}$ (dBA)	L_{gece} (dBA)
Gürültüye hassas kullanımlardan eğitim, kültür ve sağlık alanları ile yazlık ve kamp yerlerinin ağırlıklı olduğu alanlar	60	55	50	65	60	55
Ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan konutların yoğun olarak bulunduğu alanlar	63	58	53	68	63	58
Ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan işyerlerinin yoğun olarak bulunduğu alanlar	65	60	55	70	65	60
Endüstriyel alanlar	67	62	57	72	67	62

Türkiye'de Bayındırlık fiyatlarını kullanarak ses perdelerinin ekonomik analizinin yapıldığı bir kaynak olan "Karayolu Gürültüsü ve Gürültü Perdeleri'nin Ekonomik Analizi" [3] adlı tezde; gürültü perdesi yapılması önerilen bir yol tasarlanmış ve 2005 tarihli "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" (Resmi Gazete Sayı: 25862) esas alınarak bu yolun gürültü sınır değeri belirlenmiştir. Daha sonra istenilen gürültü sınır değerine ulaşmak amacı ile çeşitli malzemeler kullanılarak tasarımlar yapılmış ve bu tasarımlar dahilinde 1 km uzunluğundaki ses perdelerinin inşası için gerekli malzemelerin miktarları belirlenmiştir. İmalat kalemleri; varsa Bayındırlık Birim Fiyatları, yoksa piyasa

değerleri kullanılarak metrajlaırıyla çarpılarak fiyatlandırılmıştır. Bu hesaplamalardan çıkan toplam fiyatlar "Yaklaşık İnşa Maliyeti" olarak adlandırılmıştır. Bunun yanında, yapılan uygulamanın ekonomik analizini daha sağlıklı yapabilmek için "Hedonic Fiyat Tekniği" yaklaşımı kullanılmıştır.

Hedonic Fiyat Tekniğinde, bir bölgenin değeri bu bölgeden sağlanan faydanın fonksiyonudur. Bu faydaların içine bölgenin ve çevrenin çevresel kalitesi de dahildir. İstatistik yöntemler kullanılarak Hedonic Yaklaşım, özel bir çevresel değişimin belli bir özelliği kadar değiştirdiği ve insanların çevre kalitesini arttırmak için ödemeye hazır oldukları bedel belirlenmektedir [44].

Avusturyalı bilim adamı Streeting'in araştırmasına göre L_{eq} eşdeğer gürültü seviyesi, 1dB arrtığı zaman evlerin değerleri %0.08-1.26 oranında azalmaktadır. Bu analizin sonucunda ortalama değer kaybı oranının % 0.9 alınmasının uygun olacağı tavsiye edilmektedir.

Bu değişime "Zarar Maliyeti" denmektedir.. Bu sayede gürültünün yarattığı maddi kayıplar rakamlarla ifade edilebilmektedir.

%0.9 x Değişim Miktarı (desibel) x Arazi Değeri = Zarar Maliyeti (ZM) **(5.1)**

Çizelge 5.3 : Betonarme Gürültü Bariyeri İnşa Maliyetleri Tablosu [3]

Bariyer Yüksekliği (m)	IL dB(A)	Gürültü dB(A)	Yaklaşık İnşa Maliyeti (x1000 YTL)
0	0	70	0
1	5	65	70
2	10	60	140
3	14,74	55,26	251
4	17,64	52,36	312
5	19,79	50,21	372
6	21,46	48,54	432
7	22,8	47,2	492
8	23,93	46,07	552

Örnekte verilen gayimenkulün değeri 1.800.000 TL dir. (Yazıldığı yıl itibari ile tezde para birimi YTL olarak verilmektedir.) Gayrimenkulün arka plan gürültü değeri 50 db(A) ve karayolunun gürültü değeri 70dB(A) verilmektedir. Bu kara yoluna 1 km uzunluğunda ve farklı yükseklilerde betonarme gürültü bariyerleri yapıldığı takdirde bu perdelerin maliyetleri ve arka plan gürültü değeri ile kara yolunun oluşturduğu gürültü arasındaki farktan doğan zarar maliyetleri tek tek hesaplanmaktadır.

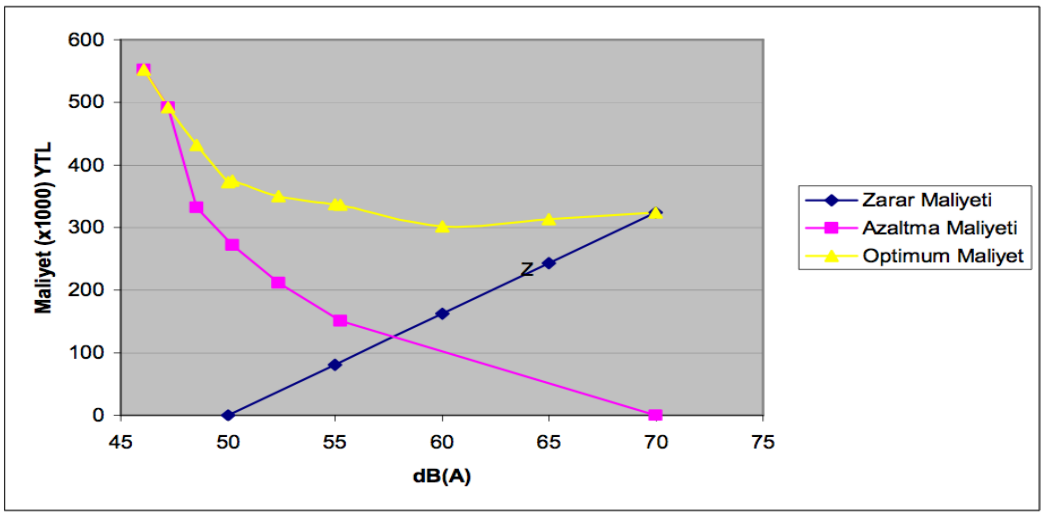
Çizelge 5.4 : Zarar Maliyetleri Tablosu [3]

Gürültü değişim aralığı dB(A)	Gürültü dB(A)	Zarar Maliyeti (x1000 YTL)
0	50	0
5	55	81
10	60	162
15	65	243
20	70	324

Daha sonra çıkan sonuçlar birbirleri ile toplanarak optimum maliyet hesabı yapılmaktadır.

Çizelge 5.5 : Toplam Maliyet Tablosu [3]

dB(A)	ZM (x1000 YTL)	İM (x1000 YTL)	TOPLAM (x1000 YTL)	Fayda/Maliyet
70,00	324,00	0,00	324,00	-
65,00	243,00	70,00	313,00	**1,16**
60,00	162,00	140,00	302,00	**1,16**
55,26	85,21	251,00	336,21	0,95
55,00	81,00	256,47	337,47	0,95
52,36	38,23	312,00	350,23	0,92
50,21	3,40	372,00	375,40	0,86
50,00	0,00	384,18	384,18	0,84
48,54	0,00	432,00	432,00	0,75
47,20	0,00	492,00	492,00	0,66
46,07	0,00	552,00	552,00	0,59



Şekil 5.3:Örnek Çalışma Maliyet Eğrilerinin Klasik Optimizasyon Sonuç Grafiği

Optimum maliyet esasen toplam maliyet eğrisidir. Bu eğrinin en düşük olduğu nokta bize optimum maliyeti verir. Örnekteki verilere göre 2m yüksekliğinde betonarme gürültü bariyeri yapmak optimum çözümdür.

Fayda/Maliyet hesabı yapıldığında ise pozitif çıkan değerler bize yatırımın kar ettiği başka bir deyişle zarar etmediği değerleri gösterir. Yukarıdaki örnekteki verilere göre 1m veya 2m betonarme gürültü bariyerleri yapıldığında bu yatırım zarar etmeyecektir. Ancak 1m veya 2m 'lik betonarme gürültü perdeleri karayolu gürültüsünü istenen gürültüsünü istenen sınır değerinin altına taşıyamayacaktır. Bu sebepten gerek optimum maliyetten daha fazla harcama yapmak gerek ise Fayda/Maliyet analizine göre zarar etmek zorunda kalınsa bile daha yüksek betonarme perdeler seçilmeli veya başka çözüm yolları aranmalıdır.

Ayrıca tezin ilerleyen bölümlerinde "Bir yolun planlanması aşamasında yapılacak potansiyel gürültü araştırma çalışmalarının dikkate alınması, toplam maliyetler üzerinde önemli ölçüde azaltıcı bir etki oluşturabilir." denmiştir.

Bu deneyin verilerini ve sonuçlarını kullanarak atık lastik katkılı asfaltın performansı dışında gürültü sönümlemesi açısından ekonomiklik boyutunu incelemek mümkün olacaktır.

Önceki bölümlerde belirtildiği üzere atık lastik katkısı asfalt karayolu kullanımı kaynaklı trafik gürültüsünü azaltıcı bir etki göstermektedir.. Sacremento Vilayeti Bayındırlık Müdürlüğü Ulaştırma Departmanı'nın (Sacremento County - Public Works Agency - Transportation Department) 1999 yılında yaptırdığı bir araştırma dahilinde atık lastik katkılı asfalt kullanımı sayesinde gürültü seviyelerindeki düşüşler Avrupa ülkeleri ve Amerika Birleşik Devletleri'nde eyaletler bazında raporlanmıştır. Aşağıdaki çizelgeler bu coğrafyalarda yapılan araştırmaları ve ortalama gürültü azalma seviyelerini göstermektedir [15].

Tablolardan anlaşılacağı üzere asfalt kaplamalarında kauçuk kullanmak ülke ve eyalet genellerinde ortalama olarak en az 2dB en fazla 10dB gürültü sönümlemesi sağlamaktadır.

Çizelge 5.6 : Çeşitli Ülkelerde ve ABD'de Yapılan Uygulamalardaki Ses Sönümleme Değerleri

Ülke	**Yıl**	**Raporlanan gürültü azalma seviyesi**
Belçika	1981	8-9 dB (%65-85)
Kanada	1991	-
İngiltere	1998	Proje tamamlanamadı
Fransa	1984	2-3 dB/3-5 (%50-75)
Almanya	1980	3 dB (%50)
Avusturya	1988	3+dB
Hollanda	1988	2,5 dB

Eyalet	**Yıl**	**Raporlanan gürültü azalma seviyesi**
Arizona Phoenix	1990	10 dB
Arizona Tucson	1989	6.7 dB
California Sacramento	1993	7.7-8 dB
California Orange	1992	3-5 dB
California Los Angles	1991	3-7 dB
California San Diego	1998	Veriler bilinmiyor
Texas San Antonio	1992	Veriler bilinmiyor
Oregon Corvallis	1994	Veriler bilinmiyor

Kaliforniya Ulaştırma Departmanı Mühendislik Servisleri Bölümü Kauçuk Asfalt

Rehberi Ocak 2003'e göre geleneksel asfalt kaplama ile atık lastik katkılı asfalt kaplama arasında ton başına ortalama 16$' lık bir maliyet farkı vardır. Bu karşılaştırma kapsamında Türkiye'de asfalt bitümü için kauçuk katkı üretimine önümüzdeki günlerde başlayacak olan Barya İnşaat Makina Tarım Otomotiv San. İç ve Dış Tic. Ltd.Şti firmasının birim fiyatları kullanılmıştır. Standart asfaltın özgül ağırlığı 2.4 ton/m^3 alındığında ve örnekte verilen yolun genişliği 15m ve uzunluğu 1km olduğundan;

15m x 1000m =15000 m^2 örnekte verilen yolun toplam alanıdır. Aşınma tabakası 5cm olarak seçildiğinde,

Çizelge 5.7 : 1km Uzunluğundaki Karayolu için Dökülecek Asfalt Betonu Tonajı

Yolun Alanı	
Genişlik	15.00 m
Uzunluk	1,000.00 m
Aşınma tabakası kalınlık	0.05 m
Alan	**15,000.00 m2**

1 km uzunluğunda dökülecek asfaltın miktarı	
Asfalt özgül ağırlık	2.40 ton/m3
Dökülecek hacim	750.00 ton/m3
Dökülecek tonaj	**1,800 ton**

15000 m2 x 2.4 ton/m3 x 0.05 m = 1800 ton asfalt betonuna ihtiyacımız olacaktır.

Türkiye'de TCK ile çalışmalar yapan ve önümüzdeki aylarda ilk defa üretime de geçecek olan Barya İnşaat Makina Tarım Otomotiv San. İç ve Dış Tic. Ltd.Şti firmasının TecRoad markasının Viyana Teknik Üniversitesi tarafından 2008 yılında yapılan yapılan ölçümlerinde bu aşındırma tabakası için % 6 bitüm ve bu bitüm içerisine %12 oranında kauçuk katkı kullanıldığında tabakanın gürültü sönümlemesi

7-8 dB olarak verilmiştir. Bu noktada maliyet hesabı yaparken yalnızca bu kauçuk katkının maliyetini normal aşınma tabakasına ek maliyet olarak hesaplamıştır. Bu kauçuk katkının birim fiyatı ise ton başına 1200,-Euro'dur.

Çizelge 5.8 : %6 Bitüm Katkılı Asfalt İçine %12 Kauçuk Katkı Maddesinin Toplam Maliyeti

%6 bitüm katkılı asfalt içine katılacak %12 kaucuk katkı maddesi toplam maliyeti	
1 ton asfalt için bitümün ağırlığı	60 kg
1 ton asfalt için kauçuk katkının ağırlığı	7.20 kg
1 ton kauçuk katkı birim maliyeti	1,200.00 Euro/ton
1800 ton için toplam maliyet	**15,552.00 Euro**

1 ton asfalt için 7,20 kg katkı gerektiğinden, kauçuk katkılı asfalt kaplamanın normal kaplamaya göre ton başına ek maliyeti,

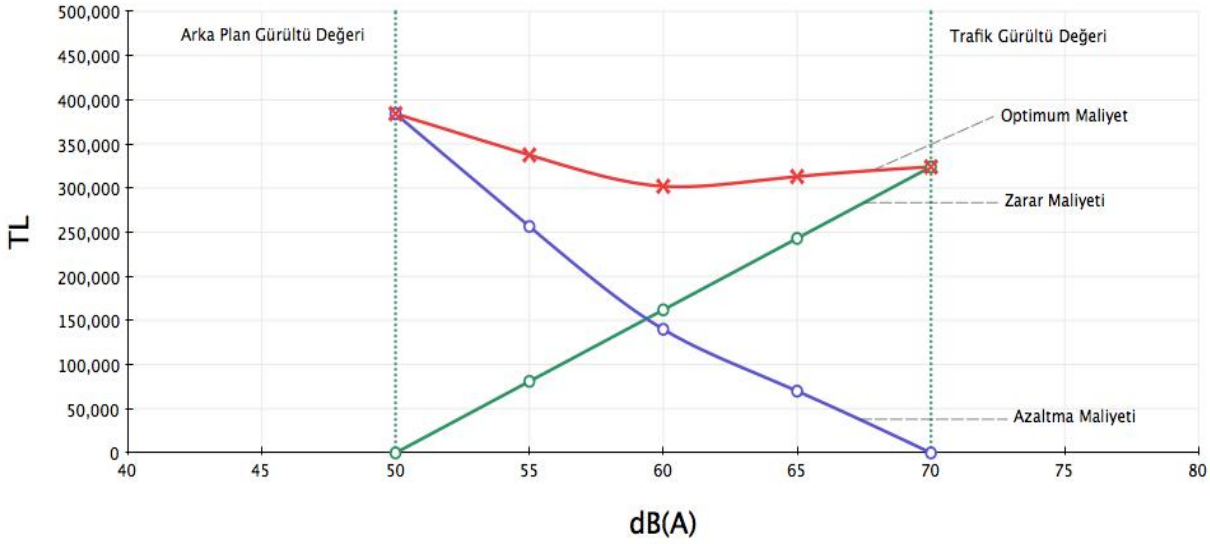
1200- Euro/ton * 0,0072 ton = 8,64 Euro'dur.

Bu, kauçuk katkının tasarlanan yol için dökülecek asfaltın 1 tonuna getireceği ekstra maliyettir. Yol için 1800 ton asfalt döküleceğinden,

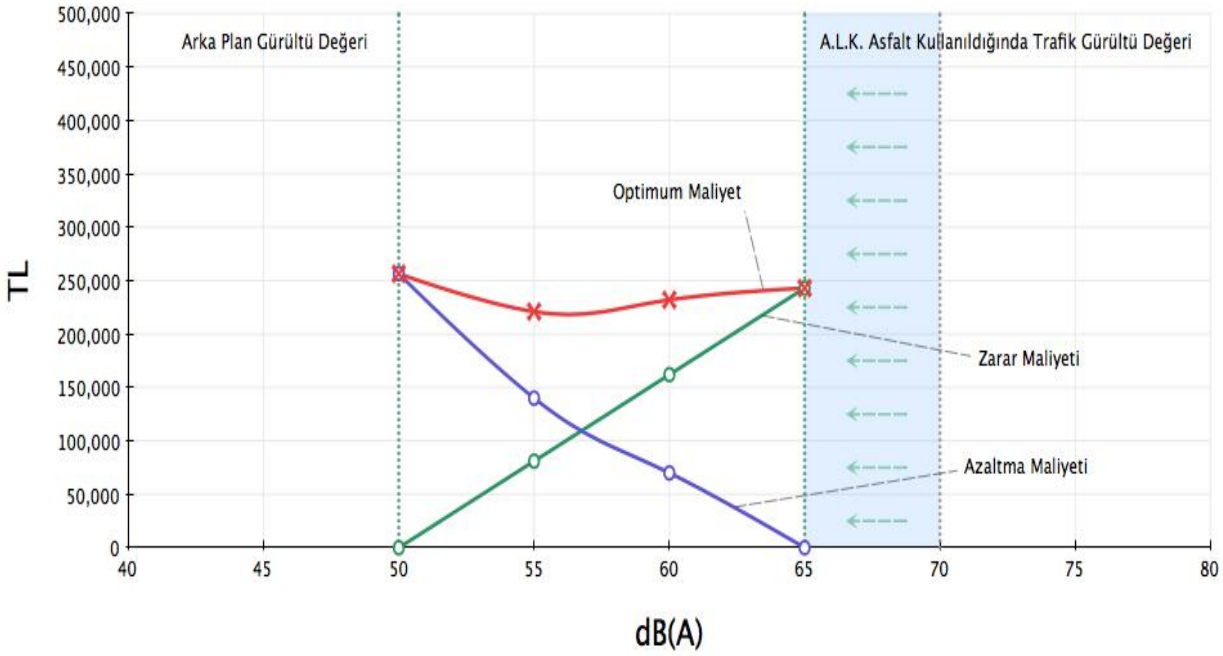
8,64 Euro/ton * 1800 ton = 15.552,-Euro bu yolun tamamı için gereken ekstra maliyettir.

5 dB gürültü sönümlemesi sağlamak için gürültü perdelerine harcanak inşaat maliyetinin 70.000,-TL olduğu düşünüldüğünde 15.552,-Euro' luk bu ek maliyete katlanarak yol üst tabakasında kauçuk kullanmak daha karlı olacaktır. Bu sayede gürültü sönümlemesi açısından optimum maliyetler düşürülürken, bunun yanında kaplamanın performansı, bakım masrafları azaltılacak ve servis ömrü uzatılacaktır. Bu şekilde elde edilecek maddi tasarruf yalnızca gürültü sönümlemesi ile olmayacak; aynı zamanda kaplamanın kendisi de standart bitümlü bir kaplamaya oranla daha karlı olacaktır.

Şekil 5.5 ve **Şekil 5.6** [3] de çıkartılan optimum maliyetin yol aşınma tabakasında kauçuk katkısı kullanılması sayesinde azaldığını görselleştirmektedir.



Şekil 5.4:[3]' den Uyarlanmış, Atık lastik katkılı asfalt Kullanmadan Ses Perdesinin Optimum Maliyet Analizi



Şekil 5.5:[3]' den Uyarlanmış, Atık lastik katkılı asfalt Kullanımında Ses Perdesinin Optimum Maliyet Analizi (grafiğin daha anlaşılır olması açısından 15.552 Euro' luk maliyet grafiğe eklenmemiştir

Bu yaklaşımlar doğrultusunda yol kaplamalarını kauçuk katkılı yapmak gürültü perdesine ihtiyaç duyulacak yollarda gürültü perdesinin maliyetini ciddi oranlarda düşürmektedir.

6. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Karayolu kaynaklı trafik gürültüsünün oluşumundaki etmenler araştırıldığında bunların başlıcalarının trafik akımı, yol yüzey özellikleri ve araçlar olduğu görülmüştür.

Bunlardan araç lastiğinin yol yüzeyi ile olan sürtünmesine bağlı gürültü en önemli etmenlerden biridir. Bu trafik gürültü kaynağını azaltmanın iki yolu vardır. Birincisi taşıt ve taşıt lastiklerinde teknolojinin ilermesiyle alınabilecek önlemler iken diğeri ise karayolu üstyapı tasarımında alınacak önlemlerdir.

Birçok farklı ülkenin ulaştırma bölümleri tarafından karayolu kaynaklı trafik gürültüsünü azaltmak için en sık kullanılan yöntemlerden biri esnek üstyapı tasarımında kauçuk bazlı bir madde olan atık lastik katkısının kullanılmasıdır.

Bu tez çalışmasında, çalışmanın ana amacı olan atık lastik katkılı asfalt kaplamaların karayolu kaynaklı trafik gürültüsünü sönümlemedeki etkileri, ses ve gürültü kavramları, karayolu kaynaklı trafik gürültüsü, lastiğin yapısı, lastiğin çevresel etkileri, asfalt, atık lastik katkılı asfaltla ilgili temel bilgiler, atık lastik katkılı asfaltın geleneksel asfalt betonu ile performans bakımından karşılaştırılması, asfalt tasarımında gürültüye etki eden faktörler, atık lastik katkılı asfaltın gürültü sönümlemedeki etkilerini araştıran laboratuvar deneyi, ses perdeleri ile birlikte kullanımında inşa maliyetine etkileri, ülkemizdeki ilgili bakanlıklar ve müdürlükler tarafından hazırlanan mevzuat, yasa ve şartnamelerin incelenmesi gibi birçok farklı bakış açısı incelenerek ortaya koyulmuştur.

- Yıllık olarak Avrupa Topluluğunda ve Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) 240 milyon adet, Japonya'da 100 milyon adet ve ülkemizde de Lastik Sanayicileri Derneği'nin (LASDER) verilerine göre ortalama 20 milyon adet atık lastik çıkmaktadır.

- Atık lastik yönetimi lastiğin yeniden kullanılması, malzeme geri kazanımı, enerji kazanımı ve depolamayı kapsamaktadır.

•Atık lastiklerin malzeme geri kazanım yöntemi dahilinde en çok kullanım alanı bulduğu sektörlerden biri de inşaat sektörüdür.

•İnşaat sektörü içinde atık lastik kullanımını değerlendirdiğimiz de ise bu malzemenin asfalt kaplamalı esnek üstyapı tasarımlarında kullanıldığı görülmektedir.

•Atık lastik katkılı asfalt ASTM tarafından asfalt karışımının en az %15'i oranında geri dönüştürülmüş lastik, asfalt betonu ve diğer katkı maddelerinden oluşan bir karışım olarak tanımlanmıştır.

•1960'ların ortalarında granüle edilmiş kauçuk asfalt bağlayacının geliştirilmesi ile başlayan bu uygulama, atık lastik stoklarının, buna bağlı olarak çevresel etkilere karşı alınan önlemlerin, uygulama hakkında araştırma ve deneylerin artması ile özellikle ABD'nin birçok farklı eyaletinin ulaştırma bölümü ve bazı Avrupa ülkelerinde yaygınlaşmıştır.

•Dünya genelinde atık lastik katkılı asfalt kaplama uygulamasının yaygınlaşmasının en önemli nedeni, performans ve saha deneylerinde elde ettiği sonuçlardır.

•2010 yılında ülkemizde İSFALT A.Ş. tarafından atık lastik katkısının bitümlü sıcak karışımların performansına etkisinin araştırıldığı deney atık lastik katkılı karışımlarla yapılan kaplamaların geleneksel asfalt karışımlarla yapılan kaplamalara göre daha elastik olduğu ve düşük sıcaklık nedeniyle meydana gelebilecek çatlak oluşumu potansiyeline karşı direnimi arttığını ortaya koymuştur.

•Bütün bu performans deneyleri, atık lastik katkılı asfalt kaplamaların, geleneksel asfalt betonuna göre daha yüksek deformasyon direnimi, uzun servis süresi, düşük bakım maliyeti gibi birçok avantaj sağladığını ortaya koymaktadır.

•Atık lastik katkılı asfaltın bu performans iyileştirme özellikleri yanında karayolu ulaştırma sisteminin özellikle servis süresi boyunca meydana getirdiği trafiğe bağlı gürültü kirliliğini azaltmada önemli bir etkisinin olduğu yapılan laboratuvar ve saha deneyleri ile ortaya çıkmıştır.

•Özellikle ABD'nin birçok farklı eyaletine bağlı ulaştırma bölümleri atık lastik katkılı asfalt kaplama uygulanmadan önce ve sonra farklı yöntemler kullanarak gürültü ölçümleri gerçekleştirerek bunları yayınlamışladır.

•Saha deneyleri dışında, atık lastik katkılı asfaltın trafik gürültüsünü sönümlemedeki etkilerini araştıran laboratuvar deneyleri de yapılmıştır. Bu deneyler tasarımı yapılan

ve laboratuvar ortamında oluşturulan örneklerin gürültü sönümlemesini azaltabilecek dış faktörlerden bağımsız kontrollü bir şekilde ölçülmesini temel alır.

- ASTM E1050 olarak standartlaştırılmış empedans tüpü ile gerçekleştirilen atık lastik katkılı asfalt kaplamaların ses sönümlemedeki etkilerini analiz eden laboratuvar deneyi, yüzey tipi, bağlayacının tipi, hava boşluk oranı, hava boşluk boyutu, yaşlanma, elastikiyet modülü, atık lastiği granüle etme metotoları gibi birçok parametrenin ses sönümlemedeki etkileri empedans tüpü ile yapılan ölçümlerin istatistiksel analiz prosedürü ile anlamlılaştırılması ile incelenmektedir.

- Deney poroz karışımların yoğun granülometrili karışımlara göre ses sönümlemesinde daha etkili olduklarını ortaya koymuştur. Bununla birlikte bağlayacı türünün, atık lastiği granüle etme yöntemlerinin, granüle kauçuğun granülometrisin ve konsantrasyonunun, ses sönümlemesinde etkili olmadığını da ortaya çıkmıştır. Deney aynı hava boşluk oranına sahip örneklerden daha küçük hava boşluk boyutlu olanların ses sönümlemede etkili olduklarını ses dalgalarının hava boşluk deliklerinden geçerken uğradığı sürtünme direnci ile ilişkilendirmiştir.

- Deneyin diğer bir dikkat çekici sonucu da granüle kauçuğun geçirgenliğe etkisini temel alarak aynı agrega granülometrisine sahip karışımlarda atık lastik granülü katkılı karışımların geçirgenliğinin daha düşük olması granüle kauçuğun hava geçiş kanallarını tıkaması olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle daha geniş hava akış kanalları sağlayan süreksiz granülometrili agregaların kullanılması önerilmiştir.

Çalışmada atık lastik katkılı asfalt kaplama uygulamasının ülkemizdeki durumu farklı kaynaklar ve veriler doğrultusunda değerlendirilmiştir.

- 2010 TUİK'in verilerine göre ülkemizdeki motorlu taşıt sayısı 15.095.603, ASMUD 2006 raporuna göre 2006 Tüpraş bitüm üretim miktarı 2.179.000 tona ulaşmıştır. ASMUD 2006 raporuna göre 2006 Tüpraş bitüm üretim miktarı 2.179.000 tona ulaşmıştır.

- Kauçuk Modifiye Bitümler ve Kauçuk Asfalt Karışımlarına Ait Teknik Şartname Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından tezin yazıldığı tarih itibari ile hazırlanıp ve bölgelere dağıltılmış olmasına karşın birim fiyat cetvelleri tamamlanmadığı için ihale aşamalarında daha kullanılmamaktadır.

•Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2006 senesinde "Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği", 2009 senesinde ÇED Rehberi – Karayolları ve 2010 senesinde yayınlanan "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" gibi yönetmelik ve raporlarla hem atık lastik yönetimi, hem karayollu kaynaklı gürültünün azaltılması için adımlar atılarak Kauçuk Modifiye Bitümler ve Kauçuk Asfalt Karışımlarına Ait Teknik Şartnamesi için zemin yıllar içinde hazırlanmıştır.

Çalışmanın son bölümünde ise atık lastik katkılı asfalt kaplamanın trafik kaynaklı gürültü kirliliğine etkisini diğer bir yöntem olan gürültü perdeleri ile maliyet açısından karşılaştırılmıştır.

•2010 senesi Haziran ayında Resmi Gazete'de yayınlanan "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" (Resmi Gazete, Sayı 27601) uyarınca kara yolu çevresel gürültü sınır değerlerinin aşıldığı yollarda yönetmelikte belirlenen esaslar çerçevesinde lüzum görüldüğü takdirde yol kenarlarına TSEN 1793-1, TSEN 1793-2 ve TSEN 1793-3 standartlarına uygun olarak gürültü perdeleri konulabileceği belirtilmiştir.

•İstenilen gürültü sınır değerine ulaşmak amacı ile çeşitli malzemeler kullanılarak tasarımlar yapılmış ve bu tasarımlar dahilinde 1 km uzunluğundaki ses perdelerinin inşası için gerekli malzemelerin miktarları ve Bayındırlık Birim Fiyatları temel alınarak "Yaklaşık İnşa Maliyeti" hesaplanmıştır

•Yapılan uygulamanın ekonomik analizini daha sağlıklı yapabilmek için "Hedonic Fiyat Tekniği" yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım dahilinde eşdeğer gürültünün 1dB(A)'lık değişiminin, ilgili karayolunundan etkilenen gayrimenkulün fiyatında doğru orantılı olarak 0.9 % bir değişim meydana getirdiği varsayılmıştır. Bu değişime "Zarar Maliyeti" denmiştir.

•Verilere göre 2m yüksekliğinde betonarme gürültü bariyeri yapmak optimum çözümdür. 2m yüksekliğinde betorname gürültü bariyeri uygulanacak 1km uzunluğundaki yolun geometrik parametreleri sabit kalıp, 5 cm'lik bir aşınma tabakası tasarımı seçilerek, Türkiye'de asfalt bitümü için kauçuk katkı üretimine önümüzdeki günlerde başlayacak olan Barya İnşaat Makina Tarım Otomotiv San. İç ve Dış.Tic. Ltd.Şti firmasının birim fiyatlarını kullandığımızda ortaya 5dB'lik ses sönümlemesi için gürültü perdelerine harcanacak inşaat maliyetinin 70.000,-TL,

kauçuk modifiye asfalt kaplamanın ek maliyetinin ise 15.552,-Euro olduğu ortaya çıkmıştır.

•Sonuçlar trafik kaynaklı gürültü sönümlemesinde atık lastik katkılı asfalt kaplama uygulamasının mevcut gürültü perde uygulamalarına göre optimum maliyeti oldukça düşürdüğünü ortaya koymuştur.

Dünyada ve özellikle ABD'de yaygın bir şekilde uygulanan atık lastik katkılı asfalt kaplaması, kaplamanın performansını iyileştirmesi yanında karayolları üzerinde hareket eden taşıtlar için üretilen lastiklerin atık durumuna gelmesi ile oluşan çevre kirliliğini önlediği gibi bir diğer karayollarına bağlı oluşan çevresel etki olan trafik gürültüsünü de azaltmaktadır. Ulaştırma döngüsü içinde oluşacak olan çevre ve gürültü kirliliği gibi çevresel etkileri azaltan bu uygulama mevcut gürültü perdeleri gibi önlemlere kıyasla maliyet bakımından büyük avantajlar getirmesi dünyada bu nedenle sık kullanıldığının bir göstergesidir. Ülkemizde bu uygulama için gerekli altyapı şartname ve yönetmeliklerle hazırlanmış olup ilerleyen dönemde karayollarımızda atık lastik katkılı asfalt uygulamaların başlaması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **D. A. HARRİS. (**1979). Handbook of Noise Control.

[2] **IYEM Brüel&Kjær, (**1998). Akustik ve Titresim Ölçümleri (SES-F) Ders Notu.

[3] **M. ,ÇALIŞ. (**2007). Karayolu Gürültüsü ve Gürültü Perdelerinin Ekonomik Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

[4] **McCLELLAN. J. H., CHELLOPPA, R. ve CEVHER, V.** (2006). Joint Acoustic-Video Fingerprinting of Vehicles Part-I., IC ASSP 2007 Conference, Hawai

[5] **ÇETiN İ, EROĞLU, M. ve AKTÜRK, N.** (2002). Taşıt Motorlarının Neden Olduğu Gürültü, Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, Mayıs 8-12.

[6] **BAY, F., GÜNEY, A.** (1998).. Lastik Yol Gürültüsü, 4. Akustik ve Gürültü Kongresi, Kas, Antalya, Türkiye, Ekim 29-31.

[7] **Lee, C. S. Y., Fleming, G. G.** (1996). "Measurement of highway-related noise." Federal Highway Administration, FHWA-PD-96-046. "

[8] **K, M. SHATANAWİ.** (2008). The Effects of Crumb Rubber Particles on Highway Noise Reduction – A Laboratory Study, Clemson University

[9] İnternet: Technical Guides on the Identification and Management of Used Tyres, http://www.basel.int/cop5/predocs/Eng/99-008e.htm (1998).

[10] **Humprey, D.N. (**1997). **"**Water Quality Effects of Tyre Chip Fills Placed Above Ground Water Tables", ASTM (1997).

[11] **Deniz V. Ve Alataş C.** (2001) Atık Lastik Yönetimi, IV.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi (2001).

[12] **Gönüllü, T.** (1997). "Çeşitli Atıklar İçin Optimum Pirolitik İşletme Parametrelerinin Belirlenmesi

[13] **Adhikari, B.De D. Ve Miti S.** (2000). Prog.Polym.Sci., 25, 909-949

[14] **State of California Department of Transportation Division of Engineering Services**, 2003 ASPHALT RUBBER USAGE GUIDE

[15] **Sacramento County Department of Environmental Review and Assessment and Bollard & Brennan, Inc. Consultants in Acoustics and Noise Control Engineering. (**1999). Report on the Status of Rubberized AsphaltTraffic Noise Reduction in Sacramento County

[16] **İsfalt A.Ş.** (2010). Kullanılmış Otomobil Lastiklerinin Bitümlü Sıcak Karışım Performansına Etkisi, İstanbul

[17] **Arizona Department of Transportation Materials Group.** (1998). "where the Rubber Meets the Pavement", The Asphalt Conference, Atlanta ,Georgia.

[18] **E., Avcı.** (2009). Sıcak İklimli Bölgelerde Kullanılan Asfalt Betonu Karışım Değişkenlerinin Kaplama Tabakası Performansına Etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü

[19] **Piggott, M.R., R.T. Woodhams.** Recycling of Rubber Tires in Asphalt Paving Materials" Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry University of Toronto, Toronto, Canada

[20] **Bilawchuk, S.** (2005) "Tire noise assessment of asphalt rubber crumb pavement."Canadian Acoustics, 33(1), 37-41.

[21] **Sandberg, U., and Ejsmont, J. A.** (2002). "Tyre/Road noise reference book", Informex, SE-59040 Kisa, Sweden

[22] **Yamaguchi, M., Nakagawa, H., and Mizuno, T.** (1999). "Sound absorption mechanism of porous asphalt pavement." Journal of the Acoustical Society of Japan

[23] **Bernhard, R. J. Wayson and R. L**. (2005) "An introduction to tire/pavement noise."Institute for Safe, Quiet and Durable Highways, Purdue University. Report SQDH 2005-1.

[24] **Bennert, T., Hanson, D. Maher, A., and Vitillo, N**. (2005) "Influence of pavement surface type on tire/pavement generated noise." Journal of Testing and Evaluation, 33(2), 94-100.

[25] **Meiarashi, S., Ishida, M., Nakashiba, F., Niimi, H., Hasebe, M., and Nakatsuji, T.** (1996). "Improvement in the effect of drainage asphalt road surface on noise reduction," Applied Acoustics, 47(3), 189-204.

[26] **Sousa, J. B., Way, G. B., and Zhu, H**. (2004). "Asphalt-rubber noise data compilation (Synthesis of Current Practices)."

[27] **Canale, S., Malgarini, M., Puzelli, G., Ricci, R**. (1990). "The differences of sound pressure level on Italian highway pavements." Proceeding of International Tire/Road Noise Conference, 8-10 August, Gothenburg, Sweden.

[28] **Huang, S. C., Branthaver, J. F., Robertson, R. E., and Kim, S. S.** (1998). "Effect of film thickness on the rheological properties of asphalts in contact with aggregate surface." Transportation Research Record, 1638, 31-39.

[29] **Swift, J., Bris, P., and Horoshenkov, K. V. (**1999). "Acoustic absorption in re-cycled rubber granulate." Applied Acoustics, 57(3), 203-212.

[30] **Cho, D. S., Mun S**. (2007). "Study to analyze the effects of vehicles and pavement surface types on noise."

[31] **Sandberg, U**. (1987). "Road traffic noise - The influence of the road surface and its characteization." Applied Acoustics, 21(2), 97-118.

[32] **Ledee, F., Pichaud, Y.** (2007). "Temperature effect on tyre-road noise."

[33] **Roberts, F., Kandhal, P. Brown, E., Lee, D., Kennedy, T**. (1996). "Hot mix asphalt materials, mixture design, and construction", National Asphalt Pavement

[34] **Türkiye Asfalt Müteahhitleri Derneği ASMUD. (**2006). Türkiye Asfalt Endüstrisi

[35] http://www.lasder.org.tr/anasayfa.aspx?MenuID=29

[36] **Ö. DOĞAN.** 2005 LASTİK AGREGALI BETONLARIN ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İRDELENMESİ

[37] **Resmi Gazete,** 25.11.2006 / Sayı:2635

[38] **Resmi Gazete,** 7 Şubat 1993 Sayı:21489

[39] **Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği,** (2009). ÇED Rehberi-Karayolları

[40] **BAYINDIRLIK VE İSKAN BAKANLIĞI KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ.** (2007 -2011). Stradejik Plan

[41] **İSFALT A.Ş.,** 2010 GERi DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ LASTİK ATIKLARININ BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN PERFORMANSINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

[42] http://www.barya-makina.com.tr/

[43] **Resmi Gazete,** 4 Haziran 2010 Sayı 27601

[44] **Z. ÖZTÜRK. (**2004). Trafik Gürültüsünü Azaltma Önlemlerinin Ekonomik Analizi, Altıncı Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

EKLER

EK 1

TÜRKAK
TÜRK AKREDİTASYON KURUMU
TURKISH ACCREDITATION AGENCY
tarafından akredite edilmiş

AB-0059-T
350.07-0547-BK
07/10

Deney Raporu
Test Report

TECROAD KATKILI TEKERLEK İZİNDE OTURMA DENEY SONUÇLARI

Dizayn değerleri (Bazalt agrega)	**Elek Açıklığı (mm)**	19,1	12,7	9,52	4,76	2,0	0,42	0,18	0,074
	% Geçen	100	90,0	80,0	47,0	33,0	15,0	9,0	7,0
	Bitüm (opt.)	**5,25**							
	Dp, gr/cm^3	2,458							
	Vh, %	3,53							
(%3,75 50/70 pen. Bitüm+% 1.5 TecRoad)									

TİO Numunesi (TecRoad Katkılı)	% Sıkışma	94	**Standart** TS EN 12697-22
	Dp, gr/cm^3	2,312	**KTŞ Kısım 408 Şartname Değeri**
TİO %'si	1000 devir	1,25	-
	3000 devir	1,47	-
	5000 devir	1,63	-
	10000 devir	2,02	-
	30000 devir	2,41	maks. 6,0
	43000 devir	2,79	-



** İşaretli deneyler, akreditasyon kapsamındadır.

Deney sonuçları, sadece deneye tabi tutulan numuneler için geçerlidir.

Laboratuarlarımız tarafından numune alma işlemi gerçekleştirilmediğinden, deneye tabi tutulan numunelerin temsil özelliğinden laboratuarlarımız sorumlu değildir.

Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, TS EN ISO 9001 standardına uygun olarak belgelendirilmiştir.
TADB.KP.01.FR.05 Rev.00

Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz.
İmzasız ve mührüsüz raporlar geçersizdir

İrtibat Bilgileri: 0312 4158575

TECROAD Malzemesinin Tekerlek İzi Deney Sonuçları

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Celal Tolga İMAMOĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi: İSTANBUL 05 Ocak 1984

Adres: Cemil Topuzlu Cad. Sahil ap. No:82/8 Çiftehavuzlar Kadıköy İstanbul

Lisans Üniversite: Yıldız Teknik Üniversitesi