

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KARAYOLU GÜRÜLTÜ PROBLEMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Emel ŞİT

**TEMMUZ 2021
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KARAYOLU GÜRÜLTÜ PROBLEMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Emel ŞİT

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 / 05 / 2021

Tezin Savunma Tarihi : 02 / 07 / 2021

Tez Danışmanı : Doç.Dr.Erol İSKENDER

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

Son yıllarda nüfusun hızlı artışı, sanayi ve teknolojinin gelişmesi ve araç sahipliğindeki artış gürültü seviyesinin de artmasına neden olmaktadır. “Karayolu Gürültü Probleminin Değerlendirilmesi” hakkında yazdığım yüksek lisans tezinde gürültünün nedenleri ve kaynakları araştırılmış ve alınması gereken önlemler literatüre dayalı olarak belirtilmiştir. Ülkemizde ve diğer ülkelerde bu konu hakkında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu tez kapsamında detaylı bir literatür çalışması gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında bana her türlü desteğini veren, başlangıcından sonuna kadar her aşamasında bana yön gösteren ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Doç.Dr. Erol İSKENDER’e çalışmam esnasında değerli vakitlerini bana ayırdıkları için içtenlikle teşekkür eder, saygılarımı sunarım. Eğitim hayatım boyunca benden desteğini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Emel ŞİT
Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Karayolu Gürültü Probleminin Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Erol İSKENDER’in sorumluluğunda tamamladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim 02/ 07 /2021.

Emel ŞİT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Amaç.....	3
2. GÜRÜLTÜ KAYNAKLARI VE GÜRÜLTÜNÜN ETKİLERİ	4
2.1. Gürültü Kaynakları	4
2.2. Gürültünün Etkileri.....	5
3. KARAYOLU ULAŞIMINDAN KAYNAKLANAN GÜRÜLTÜLER.....	12
3.1. Araçlardan Kaynaklanan Gürültüler.....	12
3.2. Sürücülerden Kaynaklanan Gürültüler	15
3.3. Yollardan Kaynaklanan Gürültüler	166
3.3.1. Lastik Kaplama Gürültüsü Oluşturma Mekanizmaları.....	18
3.3.1.1. Lastik Hava Pompalama (Air-Pumping) Mekanizması	18
3.3.1.2. Lastik Titreşim Mekanizması	19
3.3.1.3. Yapışma Mekanizması	20
3.3.2. Lastik Kaplama Gürültü Artırma Mekanizmaları	21
3.3.2.1. Korna Etkisi.....	21
3.3.2.2. Rezonans Borusu (Yankı Borusu)	22
3.3.2.3. Helmholtz Rezonatörü.....	22
3.4. Çevresel Koşullardan Kaynaklanan Gürültüler	23
4. GÜRÜLTÜ TAHMİN MODELLERİ.....	25

4.1.	FHWA Modeli.....	25
4.2.	CoRTN modeli	25
4.3.	RLS 90 modeli.....	26
4.4.	ASJ RTN- Modeli 2008.....	26
4.5.	Harmonoise Modeli	27
4.6.	Son Road Modeli	27
4.7.	Nord 2000 Modeli	27
5.	GÜRÜLTÜ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ.....	30
5.1.	Yol Kenarı Gürültü Ölçüm Yöntemleri.....	30
5.1.1.	İstatiksel Geçiş Yöntemi (SPB).....	30
5.1.2.	Kontrollü Geçiş (CPB) Yöntemi	31
5.1.3.	Sürekli Akış Trafik Süresi Entegre Yöntemi (CTIM).....	32
5.2.	Kaynakta Gürültü Ölçüm Yöntemleri	32
5.2.1.	Kapalı Yakınlık (CPX) Yöntemi	33
5.2.2.	Araca Takılmış Ses Şiddeti (OBSI) Yöntemi.....	33
5.3.	Laboratuvar Davul Yöntemi.....	334
6.	GÜRÜLTÜ AZALTMA YÖNTEMLERİ	36
6.1.	Gürültü Bariyerleri	36
6.2.	Ağaçlandırma Yöntemi.....	40
6.3.	Gabion Duvarlar	44
6.4.	Trafik Yönetimi	46
6.5.	Gürültü Haritalarının Çıkarılması.....	46
6.5.	Yalıtım Malzemelerinin Kullanılması	48
6.6.	Kaplamaların Yüzey veya Karışım Özelliklerini Değiştirme.....	49
7.	ESNEK KAPLAMALARDA AKUSTİK ÖZELLİKLER.....	52
7.1.	Poroz Asfalt Kaplamalarda Akustik Özellikler	53
7.2.	Taş Mastik Asfalt Kaplamalarda Akustik Özellikler	64
7.3.	Yoğun Gradasyonlu Asfalt Kaplamalarda Akustik Özellikler	69
8.	GENEL DEĞERLENDİRME	72
9.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	84
10.	KAYNAKLAR.....	87
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

KARAYOLU GÜRÜLTÜ PROBLEMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Emel ŞİT

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Erol İSKENDER
2021, 105 Sayfa, 15 Sayfa Ek

Gürültü, insanları ve çevreyi rahatsız eden bunun yanında insan sağlığına zarar veren bir etkidir. Günümüzde büyük şehirlerde hızla artan nüfusa bağlı olarak daha da belirgin bir hal almıştır. Çeşitli gürültü kaynakları olsa da ulaşımdan kaynaklanan gürültünün payı diğer kaynaklara göre daha yüksektir. Ulaşım modları içerisinde en yüksek gürültüye karayolu ulaşımı neden olmaktadır. Bu gürültüler; sürücülerden, araçlardan veya kaplamaların özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Kaplamalardan kaynaklanan gürültülerin azaltılması için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada farklı yol kaplamalarının gürültü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Gürültü azaltma etkisine sahip çeşitli yol kaplama uygulamaları bulunmaktadır. Günümüzde gürültü seviyesi gün geçtikçe daha çok artış gösterdiği için bu kaplamalar daha çok önem kazanmıştır. Bu tez kapsamında, gürültü kaynakları, gürültünün insanlar ve çevre üzerindeki etkileri, gürültü ölçme ve tahmin etme yöntemleri araştırılmış, karayolu kaplamalarında gürültü oluşum mekanizmaları açıklanarak taş mastik asfalt, poroz asfalt ve yoğun gradasyonlu asfalt kaplamaların gürültü açısından değerlendirilmeleri literatür araştırması olarak ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gürültü, Akustik özellikler, Esnek kaplamalar, Taş mastik asfalt, Poroz asfalt, Yoğun gradasyonlu asfalt

Master Thesis

SUMMARY

ASSESSMENT OF THE HIGHWAY NOISE PROBLEM

Emel ŞİT

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Department
Advisor: Assoc. Dr. Erol İSKENDER
2021, 105 Pages, 15 Pages Supplement

Noise is a factor that bothers people and the environment, as well as harm human health. Today, it has become more pronounced due to the rapidly increasing population in big cities. Although there are various noise sources, the share of noise from transportation is higher than other sources. Road transport causes the highest noise among transport modes. These noises; They are caused by the driver, the vehicles or the properties of the coatings. Various studies are carried out to reduce the noise caused by the coatings. In this study, the effects of different road coverings on noise were investigated. There are various road paving applications with a noise reduction effect. Nowadays, these coatings have gained more importance because the noise level is increasing day by day. Within the scope of this thesis, the sources of noise, the effects of noise on people and the environment, noise measurement and estimation methods were investigated, the noise generation mechanisms in highway pavements were explained and the evaluation of stone mastic asphalt, porous asphalt and densely graded asphalt pavements in terms of noise was presented as a literature study.

Key Words: Noise, Acoustic properties, Flexible coatings, Stone mastic asphalt, Porous asphalt, Dense graded asphalt.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Ses basıncı ve ses seviyelerinin karşılaştırılması ve bazı yaygın örnekler.....	2
Şekil 2.	Gürültü kaynaklarından etkilenme analizi yüzdelik gösterimi.....	5
Şekil 3.	Araçların kategorilerine ve hızlarına göre gürültü değişimleri	14
Şekil 4.	Lastik-kaplama gürültü testi yöntemi ve uygun sessiz kaplamayı seçme adımları.	17
Şekil 5.	Hava pompalamanın şematik olarak gösterilmesi (a : hava girişi, b : hava çıkışı)	19
Şekil 6.	Lastik sırt bloğu/ kaplama etkileşimi	20
Şekil 7.	Yapışma-geçme (stick-snap) mekanizması mekanizması	20
Şekil 8.	Yapışma- kayma(stick-slip).	21
Şekil 9.	Korna etkisi.	22
Şekil 10.	Lastik ayak izinde oluşan kanallardaki rezonans borusu	22
Şekil 11.	Helmholt rezonatörü.....	23
Şekil 12.	Gürültü yayılımı üzerinde çeşitli faktörler	24
Şekil 13.	Yol kenarı geçiş ölçüm cihazı.	31
Şekil 14.	Araç gürültüsü ölçümleri (CPB yöntemi)	32
Şekil 15.	Asfalt teknolojisi merkezi CPX treyler	33
Şekil 16.	OBSI test düzeneği	34
Şekil 17.	Laboratuvar lastik-kaplama test cihazı.....	35
Şekil 18.	Bariyer duvarından kaynaklanan gürültü dağılımını gösteren çizim	37
Şekil 19.	Gürültü bariyeri.	37
Şekil 20.	Yüksekte bulunan alanlarla ilgili alınabilecek önlemler	38
Şekil 21.	Ağaçlandırma yöntemi	41
Şekil 22.	Yeşil çatı (a) ve yeşil duvar (b) gürültü emme performansları	43
Şekil 23.	İspanya Almeria Üniversitesi'nde yapılan duvar.....	44
Şekil 24.	Gabion duvarlar	45
Şekil 25.	Sol tarafta sert taşların olduğu ve sağ tarafta da genişletilmiş kilden taşların olduğu gabion örneği.	45
Şekil 26.	Elazığ ilinde yapılan bir gürültü haritası çalışma örneği.....	47
Şekil 27.	Elazığ ilindeki en önemli gürültü kaynakları.	47

Şekil 28.	(a) Gözenekli asfalt kaplama- (b) Yoğun gradasyonlu asfalt kaplama.	51
Şekil 29.	Poroz asfalt kaplama.	54
Şekil 30.	Poroz asfalt ses emilim mekanizması.....	56
Şekil 31.	Bağlantılı gözenek atılımı.	57
Şekil 32.	Üç tip gözenek yapısı.	57
Şekil 33.	Dört farklı asfalt kaplama için gürültü azalımı.	60
Şekil 34.	Yol kenarındaki gürültü seviyesinin ölçülmesi	62
Şekil 35.	TMA karışımının bileşenleri	65
Şekil 36.	Asfalt karışımların tipik granülometre eğrileri.....	66
Şekil 37.	Taş mastik asfalt.....	67
Şekil 38.	Her bir kategori için doku dalga boyu aralığı ve etkileri	68
Şekil 39.	TMA ve yoğun gradasyonlu asfalt briketi.....	69
Şekil 40.	A ve B kaplamalarının test bölümü.....	73
Şekil 41.	Yolun kesiti a) kaldırım A, b) kaldırım B	73
Şekil 42.	Yol kenarından 1.5 m, 5.25 m ve 10.0 m mesafede örnekleme yapılarak üç ölçüm noktasında ölçülen eşdeğer ses seviyeleri.....	74
Şekil 43.	1. Bölgedeki (2014) yol bölümlerinde test edilmiş yol yüzeyleri: (a) PAC8, (b) VTAC8, (c) TMA11	76
Şekil 44.	2.B ölgedeki (2014) yol bölümlerinde test edilen yol yüzeyleri: (a) PAC 11, (b) TMA 11	76
Şekil 45.	Binek otomobiller için 1. bölgedeki karayolu üzerindeki SPB ölçümlerinin sonuçları: (a) 2011, (b) 2014	77
Şekil 46.	1. Bölgedeki karayolunda istatistiksel binek otomobili geçerken gürültü seviyesi değerler arasındaki farklar (SPB yöntemi, V:80 km/s)	78
Şekil 47.	2. Bölgedeki karayolu üzerinde istatistiksel araçtan geçerken gürültü seviyesi değerleri arasındaki farklar (SPB yöntemi): (a) binek otomobil, V:110 km/s, (b) çok dingilli ağır araç, V: 85 km/s	79
Şekil 48.	1/3 oktav bantlarında A ağırlıklı frekans spektrumları: (a) VTAC 8, (b) PAC 8, (c) TMA 11.....	80
Şekil 49.	1/3 oktav bantlarında A ağırlıklı frekans spektrumları: (a) binek otomobili, V: 110 km/s, (b) çok akslı ağır araç, V: 85 km/s.....	81

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Oluşturduğu olumsuz etkilere bağlı olarak gürültü seviyeleri	6
Tablo 2.	Bacau kentsel alanında trafik gürültüsüne maruz kalma Lden ve Lgece sonuçlarının özeti.....	8
Tablo 3.	Bacau kentsel alanındaki trafik gürültüsünden kaynaklanan zararlı etkiden etkilenen toplam insan sayısı sonuçlarının özeti	9
Tablo 4.	Alanın amacına göre izin verilen dış gürültü seviyeleri.....	9
Tablo 5.	Karayolu çevresel gürültü sınır değerleri	10
Tablo 6.	Bir topluluğun çeşitli alanları için farklı gürültü seviyesi standartları.....	10
Tablo 7.	Trafik gürültüsünü etkileyen faktörler	12
Tablo 8.	Taşıtların neden olduğu gürültü seviyeleri.....	13
Tablo 9.	Farklı teknik özelliklere göre çeşitli trafik gürültüsü modellerinin karşılaştırılması.....	28
Tablo 10.	Gürültünün azaltılmasında bariyerlerin rolü.	39
Tablo 11.	Ağır ve acil durum araçları için (kaynak, 5, 10 m uzaklık) ve seyrek, orta ve yoğun dikim planları arasında gürültü azaltma	42
Tablo 12.	2014'ten 2018'e kadar ulusal gürültü şikayetleri	48
Tablo 13.	Yol yüzeyi tipine göre tipik lastik/kaplama gürültü seviyesi.....	50
Tablo 14.	Karayolu gürültüsüyle ilgili son beş yılda yayınlanan makale sayıları.....	53
Tablo 15.	Boşluklu kaplamalarda gürültü absorpsiyonunun karşılaştırılması	60
Tablo 16.	Sejong şehrinde ölçülen veriler	63
Tablo 17.	Çalışmada değerlendirilen test yollarının özellikleri ve kodları	76
Tablo 18.	Şekil 45'te sunulan verilerle ilgili istatistiksel bilgiler.....	77
Tablo 19.	Farklı kaplama yüzey türlerinde gürültü	82
Tablo 20.	Farklı kaplamalı yüzey tiplerinin ortalama gürültü seviyelerinin karşılaştırılması	82
Tablo 21.	Araştırmacılar tarafından kaplamalar üzerinde yapılan gürültü azaltma testlerinin sonuçları.....	83

SEMBOLLER DİZİNİ

AASHTO	Amerika Devlet Karayolu ve Ulaştırma İdareleri Birliği
AB	Avrupa Birliği
ASJ RTN	Referans Malzemesi Yol Trafik Gürültüsü Tahmin Modeli
CPCB	Merkezi Kirlilik Kontrol Kurulu
CPB	Kontrollü geçiş yöntemi
CPX	Kapalı yakınlık yöntemi
CoRTN	Yol trafik gürültüsünün hesaplanması yöntemi
CTIM	Sürekli akış trafik süresi entegre yöntemi
dB	Desibel: Gürültü değerlendirme birimi
DGA	Yoğun gradasyonlu asfalt kaplama
DLPP	Çift katmanlı poroz asfalt
EEA	Avrupa Çevre Ajansı
FHWA	Federal Karayolu İdaresi
HA	Yüksek rahatsızlık
Harmonosie	Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimine İlişkin AB Direktifi için Uyumlaştırılmış Doğru ve Güvenilir Yöntemler
HSD	Yüksek uyku bozukluğu
Hz	Frekans
ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilatı
L_1	%1'i aşan gürültü seviyesi
L_{10}	%10'u aşan gürültü seviyesi
$L_{gündüz}$	Gündüz gürültü göstergesi
$L_{akşam}$	Akşam gürültü göstergesi
L_{gece}	Gece gürültü göstergesi
L_{den}	Gündüz-akşam-gece gürültü göstergesi
L_{A10}	Bir saatlik sürede elde edilen A ağırlıklı gürültü seviyesi
L_{Amax}	Maksimum gürültü seviyesi
OBSI	Araca takılmış ses şiddeti yöntemi
OGFC	Gözenekli asfalt kaplama

PAC 8	8 mm agrega boyutuna sahip poroz asfalt
PAC 11	11 mm agrega boyutuna sahip poroz asfalt
RLS 90	Yollarda Gürültüden Korunma Yönergeleri
SLPP	Tek katmanlı poroz asfalt
SPB	İstatiksel geçiş yöntemi
TAL	İnce asfalt tabakası
TMA	Taş mastik asfalt
TMA9	9 mm agrega boyutuna sahip taş mastik asfalt
TMA11	11 mm agrega boyutuna sahip taş mastik asfalt
TMA16	16 mm agrega boyutuna sahip taş mastik asfalt
TS ISO 1996-2	Türkiye gürültü seviyesi standartı
V	Hız
VTAC8	8 mm agrega boyutuna sahip çok ince asfalt betonu
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

1. GENEL BİLGİLER

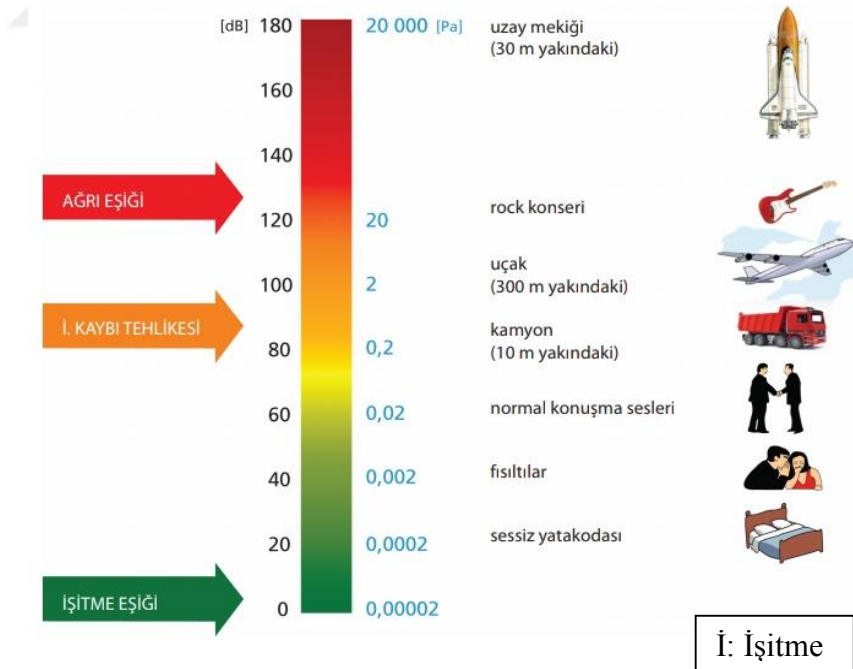
1.1. Giriş

Gürültü kirliliği (akustik kirlilik) nüfusun artması, sanayinin ve teknolojinin gelişmesi ve temel alışkanlıkların değişmesiyle ortaya çıkmıştır. Birçok gürültü kaynağı olmasına rağmen gürültü kirliliğine sebep olan kaynakların başında ulaşım gelmektedir. Ulaşım kaynaklı gürültüler, özellikle 1960'lı yıllardan sonra daha çok ilgi çekmiştir. Ulaşım kaynaklı gürültüler insanlar üzerinde fiziksel, fizyolojik, psikolojik, vb. çeşitli etkilere sebep olmaktadır (TC Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010). Bu gürültüler, özellikle büyük şehirlerde, hem insan sağlığı hem de bölge ekonomisi için giderek artan bir endişe kaynağıdır. Yapılan bir çalışmada, Avrupa Birliği (AB) vatandaşlarının %30'unun Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO'nun) önerdiği ses seviyesini aşan trafik gürültüsüne maruz kaldığı görülmüştür. Danimarka'da yapılan bir araştırmada da trafikten kaynaklanan gürültüde oluşan 1 dB(A)'lık artıştan dolayı yol kenarlarında bulunan evlerin fiyatlarında %1'lik bir düşüşün olduğu anlaşılmıştır (FEHRL, 2006).

Yaşam boyunca insanlar yaşam konforunu artırmak, daha iyi sağlık ve eğitim imkânlarına kavuşmak ve gelir seviyelerini yükseltmek gibi sebeplerden büyük şehirlere göç etmişlerdir. Bu da zamanla kentlerde nüfusun artmasına ve buna bağlı olarak daha fazla gürültüye sebep olmuştur. Ulaşımın büyük oranda sebep olduğu bu gürültülerin önüne geçmek için günümüzde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bunlar; daha az gürültü üreten yol kaplamalarının yapılması, gürültü ile ilgili yasaların çıkarılması, gürültüyü azaltan bariyerlerin (ses perdeleri) yapılması, gürültü haritalarının çıkarılması, daha az gürültü çıkaran makinelerin kullanılması ve araçların üretilmesi gibi çalışmaları kapsamaktadır.

Gürültü, kabul edilebilir seviyeyi aşan ve rahatsızlık yaratan ses olarak tanımlanabilir (Subramani vd., 2012). İnsanların yaşam kalitesini bozduğu zaman, ortaya çıkan hoş veya nahos seslerdir. Kişisel özellikler, istatistiksel özellikler ve çevrenin fiziksel özellikleri de dahil olup birçok faktöre bağlı olan öznel bir tepkidir (Singh vd., 2018). Sözlükteki anlamı ise aralarında uyum bulunmayan, düzensiz seslerin bütünü, patırtı, şamata şeklindedir (Türk Dil

Kurumu, 2006). Gürültü dB(A) cinsinden ölçülmektedir. Duyma sınırı 0 dB(A) olup ağrı şiddeti ise 120-130 dB(A)'dır (TC Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010). İstenmeyen ses olarak tanımlanan gürültü, sesin yüksekliği ile bağlantılı olup sesin ne zaman ve nerede ortaya çıktığı ile bağlantılı olarak ele alınır (URL-1, 2021). Ses, dalgalar halinde yayılan bir enerji türüdür. Teknik olarak hava basıncından meydana gelen bir olgudur. Titreşimler ve aerodinamik hareketler sonucu meydana gelir. Ses, nesnel bir kavramdır, kişiden kişiye değişiklik göstermez (Bıçakçı, 2011). Ses şiddeti desibel (dB) cinsinden ölçülür. İnsan kulağının duyduğu en küçük ses 0 dB olarak kabul edilmektedir (TC Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010). Ses yaşamımız boyunca varlığını koruyan bir olgu olup doğal sesler (yağmur sesi gibi) ve yapay sesler (ulaşım araçları gibi) olarak ikiye ayrılmaktadır. Şekil 1'de ses basıncı ve ses seviyelerinin karşılaştırılması ve bazı yaygın örnekler gösterilmiştir. Şekil 1'den görüldüğü üzere; 80-100 dB aralığında işitme kaybı tehlikesinin başladığı, 120-140 dB aralığında ise ağrı oluşmaya başladığı anlaşılmaktadır.



Şekil 1. Ses basıncı ve ses seviyelerinin karşılaştırılması ve bazı yaygın örnekler (Rasmussen vd., 2007)

Burada karayolu gürültü miktarını belirtildiği gibi en fazla 80 dB'e kadar çıkabilmektedir. Gürültü miktarı 80 dB'i aşmaya başladığı anda işitme kaybı tehlikesi görülmeye başlar. Bunun sonucunda, karayolu trafiğinden kaynaklanan gürültü kirliliği insan sağlığı için büyük bir tehdit oluşturur ve birtakım rahatsızlıklara neden olur. Karayolu gürültü kirliliği, nüfus artışı, araç sahipliğindeki artış ve teknolojik gelişmeler, üretim ve tüketimin artması, hareketliliğin artması vb. nedenlerle artmaya devam etmektedir. Özellikle trafiğin yoğun olduğu anayolu içerisine alan arazi şeridinde ikamet eden nüfus bu gürültüye maruz kalmaktadır.

1.2. Amaç

Tezin amacı, karayolunda oluşan gürültünün nedenleri, gürültü ölçüm ve tahmin etme yöntemleri hakkında bilgi vermek ve farklı asfalt kaplama türlerinin gürültü üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Ulaşım kaynaklı gürültüler, karayolu kaynaklı gürültüler, gürültü azaltma mekanizmaları ve kaplama tekerlek ilişkisinden kaynaklanan gürültüler hakkında detaylı bilgiler verilmiş, taş mastik asfalt, poroz asfalt ve yoğun gradasyonlu asfalt kaplamaların gürültü üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

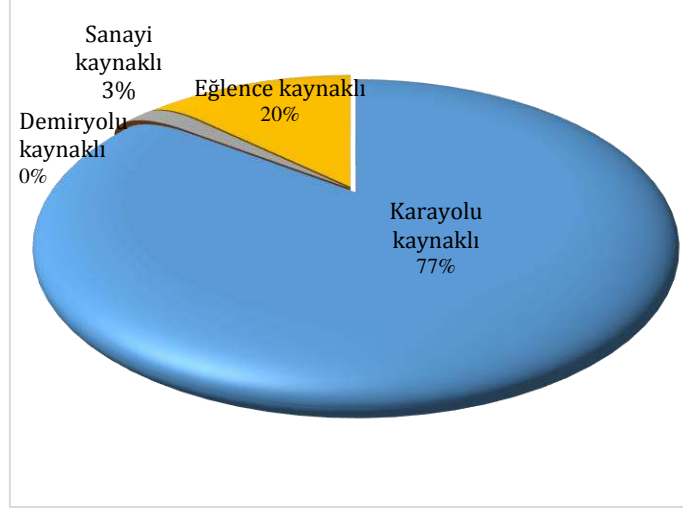
2. GÜRÜLTÜ KAYNAKLARI VE GÜRÜLTÜNÜN ETKİLERİ

2.1. Gürültü Kaynakları

Gürültü günümüzde büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bireyler arasında önemli bir tartışma kaynağı haline gelmiştir. Gürültünün oluşmasına neden olan çok sayıda gürültü kaynağı bileşeni bulunmaktadır. Bu kaynaklar aşağıdaki gibi ana kategorilere ayrılabilir (TC Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010) ;

- Ulaşım kaynaklı gürültüler (karayolu, demiryolu, denizyolu, havayolu),
- Rekreasyon kaynaklı gürültüler (çocuk parkları, eğlence merkezleri, sinemalar vb.),
- İnşaat kaynaklı gürültüler (her türlü şantiye alanları, taş ocakları vb.),
- Sanayi tesislerinde, fabrikalarda meydana gelen gürültüler,
- Mekânlarda bulunan televizyon ve radyo gürültüleri,
- Marketler, matbaalar, müzik aletlerinden kaynaklı gürültüler,
- Araç kornalarından çıkan gürültüler vb.

Birçok gürültü kaynağı olmasına rağmen karayolu kaynaklı gürültülerin payı en yüksektir. Şekil 2’de TÜBİTAK MAM’ın yaptığı bir çalışma gösterilmiştir. Bu çalışmada yapılan analizler sonucunda çeşitli gürültü kaynakları ve çevrenin bu gürültü kaynaklarından etkilenme oranları verilmiştir. Yapılan bu çalışmada, 351.504 kişilik bir şehirde 229.400 kişinin gürültüden etkilendiği görülmüştür. Şekil 2’de görüldüğü üzere gürültüden etkilenmede en çok karayolu kaynaklı gürültü etkili olmuştur. Bu etkilenme oranı yaklaşık %77’lik (176.600 kişi) bir oranla ilk sırada yer almıştır. İkinci sırada %20’lik (45.300 kişi) bir oranla eğlence kaynaklı gürültü yer almıştır. %3’lük (7.500 kişi) bir oranla ise sanayi kaynaklı gürültü üçüncü sırada yer almıştır. Demiryolu kaynaklı gürültü ise yapılan etkilenme analizi sonucunda hiç kaydedilmemiştir (Taşkaya ve Sesli, 2018).



Şekil 2. Gürültü kaynaklarından etkilenme analizi yüzdelik gösterimi (MAM,2016)

Trafik gürültüsüne sebep olan bazı etkenler farklı gürültü seviyeleri oluşturmaktadırlar (Subramani vd., 2012);

- Yoğun trafik olan veya yüksek sesli hoparlörlere yakın alanlar: 80 –105 dB(A).
- Uçan uçakların bulunduğu alanlar: 90-100 dB(A).
- Tren İstasyonlarında, trafik kavşaklarında, yoğun pazarlarda; 70 –90 dB(A).
- Trafiğe, endüstrilere ve pazarlara yakın yerleşim alanları: 60 –80 dB(A).
- Yoğun trafik yollarından veya diğer gürültülü kaynaklardan uzak yerleşim alanları: 40 –60 dB(A).

2.2. Gürültünün Etkileri

Gürültü, çevre sağlığı için ciddi bir tehdit olarak kabul edilir. Dünya Sağlık Örgütü'nün bulgularına göre gürültü, hava kalitesinin etkisinden hemen sonra sağlık sorunlarının en büyük ikinci çevresel nedenidir (WHO, 2009). Özellikle trafikten kaynaklanan gürültüler bunun en büyük etkenidir ve bireylerde çeşitli rahatsızlıkların oluşmasına neden olur. Trafik gürültüsünün neden olduğu çeşitli rahatsızlıklar (uyku bozukluğu, sinir, stres, işitme kaybı gibi) vardır. Dünya sağlık örgütü, gürültünün insan refahı için büyük bir tehdit olarak kabul edilmesi gerektiğini belirtmiştir (Singh vd., 2018). Araştırmalara göre trafik gürültüsünün migren, yüksek kan basıncı sorunu, yorgunluk ve zayıflığın birincil nedeni olduğu

açıklanmıştır (Kluizenaar vd., 2007; Pavnovic vd., 2013). Bunun yanında erken doğumların da sebeplerinden biri olduğu görülmüştür (Christensen vd., 2017). Diğer bir etkisi olarak özellikle çocuklarda sinir, stres, uyku bozukluğu, öğrenme yetisinin azalması gibi rahatsızlıklara neden olduğu kanıtlanmıştır (Griefan ve Basner, 2011; Chetoni vd., 2016). Gürültüye ilişkin sağlık sorunlarının tümü işitme kaybı anlamına gelmez. Bunun yanında diyabet, zihinsel sağlık sorunları, yüksek tansiyon gibi etkenlere de neden olur (Babisch, 2011; Sorensen vd., 2013). Dünya nüfusunun %30'undan fazlası aşırı karayolu trafik gürültüsüne maruz kalmaktadır ve buna bağlı olarak kötüleşen durum giderek daha belirgin hale gelmektedir (WHO, 2011).

Yapılan araştırmalara göre, gürültünün insan sağlığı üzerinde farklı olumsuz etkileri olmaktadır (TC Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010). Aşırı derecede gürültülere maruz kalmanın sonucunda ortaya çıkan fiziksel ve psikolojik zararlar kanıtlanmıştır.

- a) Psikolojik etkiler: Kişilerin davranış bozukluğu yaşamasına sebep olur. Sinir, kaygı, öfkelenme, depresyon, stres, rahatsızlık vb.
- b) Fiziksel etkiler: Kişide işitme bozukluğuna sebep olur.
- c) Fizyolojik etkiler: İnsan vücudunda bazı değişikliklere sebep olur. Stres, kalp atışında hızlanma ve solunum artması.
- d) Performans üzerinde etkisi: Kişinin çalışmasında veriminin düşmesine sebep olur.

Tablo 1. Oluşturduğu olumsuz etkilere bağlı olarak gürültü seviyeleri (Cura, 1994).

<i>Derece</i>	<i>Değer(dB(A))</i>	<i>Etki</i>
1	30-65	Konforsuzluk, rahatsızlık, öfke, uyku ve dikkat bozukluğu
2	65-90	Kan basıncının artması, kalp atışı ve solunum hızlanması
3	90-120	Baş ağrıları
4	120-140	İç kulakta sürekli hasar, denge bozuklukları
5	>140	Ciddi beyin hasarı

Tablo 1’de belirtilen etkiler insanların yaşamlarını olumsuz etkileyip daha mutsuz bir yaşam sürmelerine neden olmaktadır. Bu yüzden gürültü kaynaklarının belirlenip daha az

gürültüye neden olmaları için çalışmalar yapılması, gürültü etkeninin fazla olduğu bölgelerde gürültü haritalarının düzenlenmesi önemli görülmektedir.

Bazı araştırmacılar karayolu trafiğinden kaynaklanan gürültü ile ortaya çıkan rahatsızlıklar arasındaki ilişkileri araştırmışlardır;

Rastgele seçilen 1112 yetişkin kişiyle yapılan bir ankette, ankete katılanların yaklaşık %17'sinin yüksek veya aşırı trafik gürültüsünden rahatsız oldukları görülmüştür (Okokon vd., 2015). Yaklaşık %22'si gürültüyü aşırı sağlık riski olarak görürken, %27'si trafik yoğunluğunu risk olarak değerlendirmişlerdir (Singh vd., 2018).

Karayolu trafiğinden kaynaklanan gürültü ile ortaya çıkan rahatsızlıkların arasındaki ilişki araştırılmış. Çalışmada, on yıl boyunca karayollarına yakın konutlarda ikamet eden 19-59 yaş arasındaki yetişkin Hintli nüfus seçilmiştir (Banerjee, 2013). Gürültünün eşik maruziyet değeri 67.5 dB(A) olarak alınmıştır. Ortaya çıkan rahatsızlıklar 65-80 dB(A)'den başlayarak 65-70 dB(A) üzerinde analiz edilmiştir. Analiz sonucuna göre yaş grubu 34-40 olan kişilerin yaşlarının 50-60 yaş alt grubuna kıyasla rahatsızlığa karşı daha savunmasız olduğu görülmüştür (Singh vd., 2018).

Taşıt hızları ve hareket yoğunlukları açısından kaldırım taşları, kalın ve ince siyah üst kaplamalı elastik asfaltlar üzerine kaydedilen gürültüden dolayı oluşan rahatsızlık değerlendirilmiştir (Freitas vd., 2012). Çalışma sonucuna göre kaldırım taşından oluşan rahatsızlığın daha fazla olduğu görülmüştür. Bunların yanında otomobil hızlarının artması da rahatsızlığı artırmıştır (Singh vd., 2018).

Trafik gürültüsünden dolayı ortaya çıkan rahatsızlığın kan damarı hipertansiyonu tehlikesi ile ilişkisi ve bunun yanında gürültü bozukluğu ile iskemik koroner hastalık tehlikesi arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmüştür (Ndrepepa ve Twardella, 2011).

Gece trafik gürültüsünün yarattığı rahatsızlıktan dolayı ortaya çıkan uyku sorunları da incelenmiştir (Fyhri ve Aasvang, 2010). Gece ortaya çıkan gürültünün uyku bozukluğu ile güçlü bir ilişkisi olduğu ortaya çıkmıştır (Singh vd., 2018).

Tunus Sfax'ta karayolu trafik gürültüsü rahatsızlığına yönelik temel faktörler (akustik ve akustik olmayan) araştırılmıştır. Gürültüden dolayı insanlarda belirli sağlık problemleri ortaya çıkmıştır bu yüzden amaç ortaya çıkan gürültü rahatsızlığını daha iyi kontrol etmektir. Bu çalışmada yaklaşık 1272 kişi ile trafikten kaynaklanan gürültüden dolayı anket yapılmıştır. Gürültü seviyesiyle ilgili akustik faktörleri belirlemek için şehrin 211 farklı noktasında toplam 633 gürültü ölçümü yapılmıştır. İstatiksel bir analiz yapıldıktan sonra gürültüye duyarlılığının, oturma odasının ya da yatak odasının penceyelerinin sokağa doğru

olması gürültü rahatsızlığının ana faktörleri olduğu bulunmuştur (Bouزيد vd., 2020). Karayolunun sebep olduğu trafik gürültüsü ile psikotrop ilaç kullanımı arasındaki bağlantı belirtilmiştir (Okokon vd., 2018). Bu da trafikten kaynaklı gürültünün insan psikolojisi üzerindeki etkisini göstermektedir. Ortaya çıkan rahatsızlıkların tek nedeni gürültü seviyesi değildir. Akustik ve akustik olmayan faktörlerin bir kombinasyonuna da bağlıdır. Akustik olmayan faktörler kişisel değişkenlere (gürültü duyarlılığı), sosyodemografik değişkenlere (yaş, cinsiyet, konut türü vb.) ve durumsal değişkenlere (yola uzaklık, konut yönü vb.) gibi değişkenlere karşılık gelir (Bouزيد vd., 2020). Ancak bazı çalışmalar gürültü rahatsızlığı üzerinde akustik faktörlerin daha etkili olduğunu göstermiştir (Fields, 1993). Tunus'un şehri olan Sfax 2014'te yaklaşık nüfusu 955.421'di (Bouزيد vd., 2020). Son 10 yılda artan kentleşmeden dolayı yaşam kalitesini büyük oranda bozan ciddi bir gürültü kirliliği ortaya çıkmıştır (Abdmoucleh ve Dahech, 2014).

2018 araştırmalarına göre (AB-28) kentsel alanlarda yaşayan yaklaşık 75 milyon insan 55 dB (A)'nın üzerinde L_{den} gürültü seviyesine maruz kalmaktadır (Petrovici vd., 2020). Romanya'nın Bacau şehrinde ilki 2012'de ikincisi 2018'de olmak üzere iki tür stratejik gürültü haritası yapılmıştır (Petrovici vd., 2020). Sonuçlar Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Bacau kentsel alanında trafik gürültüsüne maruz kalma L_{den} ve L_{gece} sonuçlarının özeti (Petrovici vd., 2020).

Yıl	Farklı Gürültü Düzeylerine Maruz Kalan Kişi Sayısı (L_{den})					Farklı Gürültü Düzeylerine Maruz Kalan Kişi Sayısı (L_{gece})				
	55-59dB	60-64dB	65-69dB	70-74dB	>75dB	50-54dB	55-59dB	60-64dB	65-69dB	>70dB
2012	19.800	25.800	21.500	20.000	9200	21.800	20.800	19.200	16.000	1000
2018	34.912	36.654	36.365	19.541	1698	34.496	31.991	25.802	4769	10

Bu verilere göre gürültü direktifinde bazı değişiklikler yapılmıştır. Tablo 3'te Bacau'da $L_{den}>55$ dB ve $L_{gece}>50$ dB seviyelerine maruz kalan bir bölgede oluşan zararlı etkiler gösterilmiştir. Son olarak da yoldan kaynaklanan gürültüden dolayı bu zararlı etkilerden (HA ve HSD) etkilenen toplam kişi sayısı tahmin edilmiştir. Yapılan bu çalışma

neticesinde tablo 2 ve tablo 3 karşılaştırılmış, gürültüye maruz kalan kişi sayısının arttığı görülmüştür. Bu nedenle gürültüyü azaltmak için gerekli önlemlerin alınması için çalışmalar yapılması önerilmiştir (Petrovici vd., 2020).

Tablo 3. Bacau kentsel alanındaki trafik gürültüsünden etkilenen toplam insan sayısı sonuçlarının özeti (Petrovici vd., 2020).

<i>Yıl</i>	<i>Yüksek Rahatsızlık (HA) Stratejik Gürültü Haritası Göstergesi (L_{den})</i>		<i>Yüksek Uyku Bozukluğu (HSD) Stratejik Gürültü Haritası Göstergesi (L_{gece})</i>	
	Trafik gürültüsü nedeniyle zararlı etki riski altındaki toplam insan sayısı	55 dB'den büyük L_{den} için trafik gürültüsü nedeniyle zararlı etki riski altındaki kişilerin yüzdesi	Trafik gürültüsü nedeniyle zararlı etki riski altındaki toplam insan sayısı	50 dB'den fazla L_{gece} için trafik gürültüsü nedeniyle zararlı etki riski altındaki kişilerin yüzdesi
2012	2286.1	0.2374	7031.5	0.2901
2018	2705.6	0.2090	7463.3	0.2787

Banja Luka şehrinde yapılan bir çalışmada trafik gürültüsünden kaynaklanan çevresel gürültü kirliliğinin gün geçtikçe arttığı görülmüştür. Bu nedenle oluşan gürültü kirliliğini değerlendirmek ve kentte ölçülen gürültü seviyelerini mevzuat ile karşılaştırmak ve oluşan gürültü ile araç sayısı arasındaki bağlantıyı kurmak için bir çalışma yapılmıştır. Sağlık kurumları ile birlikte bölgelerdeki sokaklarda gürültü seviyelerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Ölçülen değerlerin izin verilen gürültü seviyesini aştığı görülmüştür (Ilic vd., 2018).

Tablo 4. Alanın amacına göre izin verilen dış gürültü seviyeleri (Ilic vd., 2018).

Alan	Alan Amacı	İzin verilen en yüksek harici gürültü seviyesi (dBA)			
		Eşdeğer Gürültü		Tepe Seviyeleri	
		Gündüz	Gece	L_{10}	L_1
1	Hastane, rehabilitasyon	45	40	55	60
2	Turizm, rekreasyon, iyileşme	50	40	60	65
3	Yalnızca konut, çocuk, eğitim ve sağlık kurumları	55	45	50	70
4	Daireler hariç endüstriyel, depolama, servis ve trafik	70	70	80	85

Gürültü ölçümü sonuçlarına göre ortalama gürültü seviyelerinin ve trafik frekansının sağlık alanları için elverişsiz olduğu görülmüştür. Bunun nedenleri arasında çalışma sonuçlarına göre araç sayısının artması ile gürültü seviyesinin artması olduğu görülmüştür (İlıc vd., 2018). Tablo 5'te Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre gürültü haritalarının hazırlanması gereken bölgelerde yolların geçtiği alana ve zamana bağlı olarak maruz kalınan gürültü seviyeleri verilmiştir.

Tablo 5. Karayolu çevresel gürültü sınır değerleri (ÇGDYY, 2005).

Alanlar	Yenilenmiş/Onarılmış Yollar		Mevcut Yollar	
	$L_{gündüz}$ dB(A)	L_{gece} dB(A)	$L_{gündüz}$ dB(A)	L_{gece} dB(A)
Kırsal alanlar	55	45	60	50
Gürültüye duyarlı alanlar (eğitim ve sağlık alanları),	60	50	65	55
Yerleşim alanları	63	53	68	58
İş alanları ve yerleşim alanları	65	55	70	60
Endüstriyel alanlar	67	57	72	62

Tablo 5'te görüldüğü üzere yol çeşitlerine göre gündüz ve gece zaman dilimlerinde maruz kalınan gürültü seviyeleri bulunulan alanlara göre farklılık göstermektedir. Maruz kalınan en yüksek gürültü seviyesi, mevcut yollar ve yenilenmiş /onarılmış yollar için gündüz vakti endüstriyel alanlar iken maruz kalınan en az gürültü seviyesi, her iki yol çeşidi için de gece vakti kırsal alanların olduğu görülmüştür.

Gürültü seviyeleri ile ilgili geliştirilen standartlar ülkeler arasında farklılık gösterebilmektedir. Farklı kuruluşlar tarafından belirlenen kabul edilebilir gürültü seviyesi sınırları Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Bir topluluğun çeşitli alanları için farklı gürültü seviyesi standartları (Subramani vd., 2012; ÇGDYY, 2005).

Alan Açıklaması	Gürültü Seviyesi dB(A)					
	Türkiye (TS ISO 1996-2) (Gündüz Vakti)	Türkiye (TS ISO 1996-2) (Gece vakti)	CPCB, Hindistan (Gündüz Vakti)	CPCB, Hindistan (Gece vakti)	FHWA	AASHTO

Tablo 6'nın devamı

Parklar, okullar, hastaneler, camiler	65	55	50	40	60	55-60
Yerleşim alanları	68	58	55	45	70 (iç maks.55)	70 dış 55 iç
Karışık alanlar	---	---	---	---	70	70
Ticari alanlar	60	70	65	55	75	75
Endüstriyel alanlar	72	62	75	70	75	75

Tablo 6'da görüldüğü üzere Türkiye standardına göre izin verilen en yüksek gürültü seviyesi sınır değeri gündüz vakti endüstriyel alanlar için olup 72 dB(A), en düşük gürültü seviyesi sınır değeri ise gece vakti parklar, okullar gibi alanlar için olup 55 dB(A)'dir. Hindistan standardına göre ise izin verilen en yüksek gürültü seviyesi sınır değeri gündüz vakti endüstriyel alanlar için olup 75 dB(A), en düşük gürültü seviyesi sınır değeri ise gece vakti parklar, okullar gibi alanlar için olup 40 dB(A)'dir. Federal Karayolu İdaresi (FHWA) standardına göre izin verilen en yüksek gürültü seviyesi sınır değeri ticari ve endüstriyel alanlar için olup 75 dB(A), en düşük gürültü seviyesi sınır değeri ise park ve okul alanları için olup 60 dB(A)'dir. Amerika Devlet Karayolu ve Ulaştırma İdareleri Birliği (AASHTO) standardına göre ise izin verilen en yüksek gürültü seviyesi sınır değeri ticari ve endüstriyel alanlar için olup 75 dB(A), en düşük gürültü seviyesi ise park ve okul alanları için olup 55-60 dB(A)'dir.

3. KARAYOLU ULAŞIMINDAN KAYNAKLANAN GÜRÜLTÜLER

Ulaşımından kaynaklanan gürültüler çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Genel olarak bu faktörler trafik faktörleri, yol faktörleri, araç faktörleri ve insan faktörleri olarak gruplandırılabilir. Tablo 7’de ulaşım gürültüsünü etkileyen etmenler verilmiştir.

Tablo 7. Trafik gürültüsünü etkileyen faktörler (Subramani vd., 2012).

Trafik Faktörü	Yol Faktörü	Araç Faktörü	İnsan Faktörü
• Trafik yoğunluğu • Trafik hızı • Araç bileşimi • Ağır araçların varlığı • Trafik sıkışıklığı ve darboğazların oluşturulması • Çevre gürültüsü	• Yüzey pürüzlülüğü • Yol sınıfı • Çukurların varlığı • Kavşak varlığı • Hızlanma ve yavaşlanma şeritlerin varlığı • Yol genişliği • Yol kenarı tarlaların varlığı • Yüksek binaların varlığı • Gürültü bariyerlerinin varlığı	• Motor tipi • Aracın yaşı • Kullanılan yakıt türü • Aracın bakımı	• Sürücünün deneyimi • Sürüş alışkanlıkları • Sürücünün trafik kurallarına uyması • Sürücünün trafikte yüksek sesle müzik dinlemesi

Günümüzde ulaşımından kaynaklı gürültüler daha büyük bir sorun teşkil etmektedir. Ulaşım kaynaklı gürültü, karayolu üzerinde hareket halinde olan tüm araçların gözlemci noktasında ürettiği toplam gürültüdür (Subramani vd., 2012). Nüfusun artmasının yanında araç sayısındaki artışlar da yüksek oranda gürültüye sebep olmaktadır.

3.1. Araçlardan Kaynaklanan Gürültüler

Araçlardan kaynaklanan gürültülerin sebepleri arasında, günümüzde özellikle büyük şehirlerde araç sayısının artması, lastik-kaplama arasında oluşan gürültü, araçlarda frenlemeden dolayı oluşan gürültü, ek olarak motor ve kaporta gürültüleri, trafiğin hacmi, yolun kaplama cinsi, yol kenarındaki yapılar ve bitki örtüsü faktörleri gösterilebilir (Aktürk vd., 2003). Trafikte kullanılan ağır kamyon hacimleri, büyük kamyonlar, yollardaki dik eğimler, hatalı araç donanımı da gürültüye sebep olan diğer nedenler arasındadır.

Yapılan araştırmalara göre gürültüye büyük oranda katkıda bulunan hızları 35-60 km/s aralığında olan yüksek oranda ağır araçların bulunduğu trafiktir (Subramani vd., 2012).

Trafik gürültüsünde, gürültünün neredeyse %70'i araçlardan kaynaklanmaktadır. Araçların motorları, egzoz sistemi, araç ile yol arasındaki etkileşim bunun yanında aerodinamik sürtünme gibi etkiler gürültüye neden olur (Subramani vd., 2012).

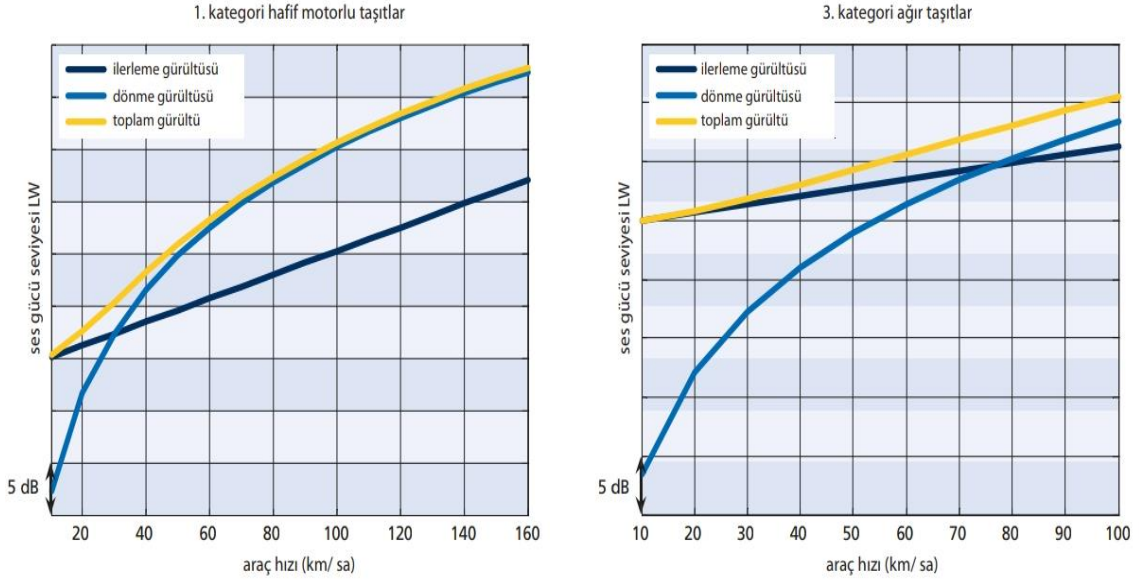
Araştırmalara göre lastik-kaplama etkileşiminde 35 km/s veya daha yüksek hızlarda giden binek araçlarının trafik gürültüsüne büyük katkıda olduğu görülmüştür (McDaniel ve Thornton, 2005). Trafikte kullanılan yüksek hızlı araçlarda gürültüye etki eder. Hızları düşük olan araçlar düşük gürültü oluştururken hızları yüksek olan araçlar daha yüksek gürültüye sebep olur (Erdoğan vd., 2007).

Taşıtların neden olduğu gürültüye taşıtların sayısı ve türü de önemli ölçüde etki etmektedir. Tablo 8'de farklı araç türlerinin sebep olduğu gürültü seviyeleri verilmiştir.

Tablo 8. Taşıtların neden olduğu gürültü seviyeleri (Alexandra, 1975).

Taşıt türü	Azami gürültü (dBA)
Otomobil	75
Otobüs (şehir içi)	85
Otobüs (şehir dışı)	80
Kamyon (80km/saat)	85
Ağır araçlar	85

şekil 3'te verilen grafiklerde araç kategorilerine göre tekerlek hareketi, motor, egzoz ve aracın sürüş mekanizmasındaki diğer bileşenlerden kaynaklanan gürültülerle toplam gürültünün aracın hızına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Grafiklerde görüldüğü gibi ilerleme gürültüsü araç hızıyla doğru orantılı olarak değişirken, tekerlerin dönmesi sonucu ortaya çıkan gürültü araç hızı arttıka katlanarak artmaktadır (Van Blokland ve Peeters, 2009).



Şekil 3. Araçların kategorilerine ve hızlarına göre gürültü değişimleri (Van Blokland ve Peeters, 2009).

Trafik gürültüsü yoğun seyahat döneminde trafikten kaynaklanan sıkışıklıktan dolayı daha az olur. Ancak trafiğin serbest akışlı olduğu zamanlarda gerek araç türü ve hızından kaynaklı gerekse kaplamadan kaynaklı gürültü seviyesi daha fazla olur.

Avrupa Çevre Ajansı (EEA) raporuna göre her dört Avrupalıdan birinin potansiyel olarak karayolu trafiğinden kaynaklanan zararlı gürültü seviyelerine maruz kaldığı tahmin edilmektedir (EEA Raport, 2014). Bu nedenle farklı gürültü azaltma önlemlerinin uygulanması gerekmektedir. Araç motorları ve egzozlarla ilgili önlemler, daha sessiz lastikler, düşük gürültülü yol yüzeyinin yapılmasına dikkat etmek, yol boyunca gürültü bariyerlerini kullanmak gibi önlemler alınmalıdır. Ancak gürültü maruziyetini azaltmak için bunlar tek başına yeterli olmayabilir (Mavridou ve Kehagia, 2017).

Ömrünü tamamlamış (kullanılmış ve bertaraf edilmiş) lastiklerin kullanımı da büyük bir sorun teşkil etmektedir. Almanya, Birleşik Krallık, Fransa, İtalya, İspanya ve Polonya gibi ülkelerde yılda 250 ila 600.000 ton arasında değişen büyük miktarda kullanılmış lastik üretiliyor (Mavridou ve Kehagia, 2017). Araç lastikleri yol yüzeyinde yuvarlanırken makroskobik ve mikroskobik hacimlerde havanın yerini alır. Makroskobik hacim lastiğin kendi hacmiyle yer değiştirmesini ifade eder. Mikroskobik hacim ise daha küçük hacimler

için geçerlidir (Subramani, 2012). Bu hava yer değiştirmeleri, basınç bozukluğu oluşturup gürültüye neden olmaktadır.

3.2. Sürücülerden Kaynaklanan Gürültüler

Sürücülerden kaynaklanan gürültüler ise daha çok aracın doğru kullanılmamasından kaynaklanır. Bu gürültülere trafik kurallarını ihlal etme, hızlı araç kullanımı, son ses müzik dinleme gibi örnekler verilebilir. Araçlarda gürültüye engel olan parçalar bulunmaktadır ancak bu parçalar bazı sürücüler tarafından sökülebilmekte bu da araç kullanımı sırasında gürültüye sebep olabilmektedir. Gürültüye sebep olan en büyük etkilerden biri de korna kullanımıdır. Birçok sürücü trafikteyken gerektiği gibi korna kullanımına dikkat etmemektedir (Erdoğan vd., 2007).

Aracın hızının yüksek olması sürücülerin etrafa verdiği rahatsızlığın artmasına ve buna bağlı olarak gürültünün artmasına neden olmaktadır. Araştırmacılar hızlanma gürültüsünün üç faktörden dolayı oluşabileceğini öne sürmüşlerdir: sürücü, yol ve trafik. Akıcı bir trafik halinde ya da yolun boş olması durumunda sürücü gereğinden fazla hızlanabilir. Bunların yanında sürücülerin yaş, cinsiyet gibi özellikleri de trafikte etkilidir. Genellikle genç kesimden oluşan sürücüler trafik kurallarına çok dikkat etmeyip yüksek hızda araç sürebiliyorlar. Bu da gürültünün artmasına ve çevrenin rahatsız olmasına neden olur. Sürücülerin araç seçimi de önemlidir. Trafikte motosiklet gibi araçların yüksek hızda kullanılması gürültüye etki eder. Genellikle genç kesim trafikte çok yüksek hızda motosiklet kullanabiliyor. Bunun sonucunda çevreye verilen gürültü seviyesi daha da artabiliyor(Ko vd., 2010). Yapılan araştırmalara göre;

- Trafik akışının hızından çok daha yüksek hızda giden bir sürücünün, trafik akışıyla birlikte giden bir sürücünün neden olduğu gürültüden daha fazla olduğu görülmüştür (Herman vd., 1959).
- Yolun tasarım hızını aşan sürücülerin neden olduğu gürültü yavaş sürücülerinkinden daha fazla bulunmuştur (Jones ve Potts, 1962).
- İsveç Uppsala'daki otobüs sürücüleri hızlanma davranışının kazaların en önemli sebeplerinden biri olduğunu öne sürmüşlerdir (af Wahlberg, 2004).

Sürücüler tarafından dikkat edilmeyen kurallar çevrede büyük bir rahatsızlık yaratır ve ortamı yaşanılması güç bir hale getirir. Bunun yanında sürücülerde bulunan sabırsızlık ve bir yere yetişme telaşı da aracı hızlı kullanıma neden olup gerektiğinden fazla gürültü yaratır.

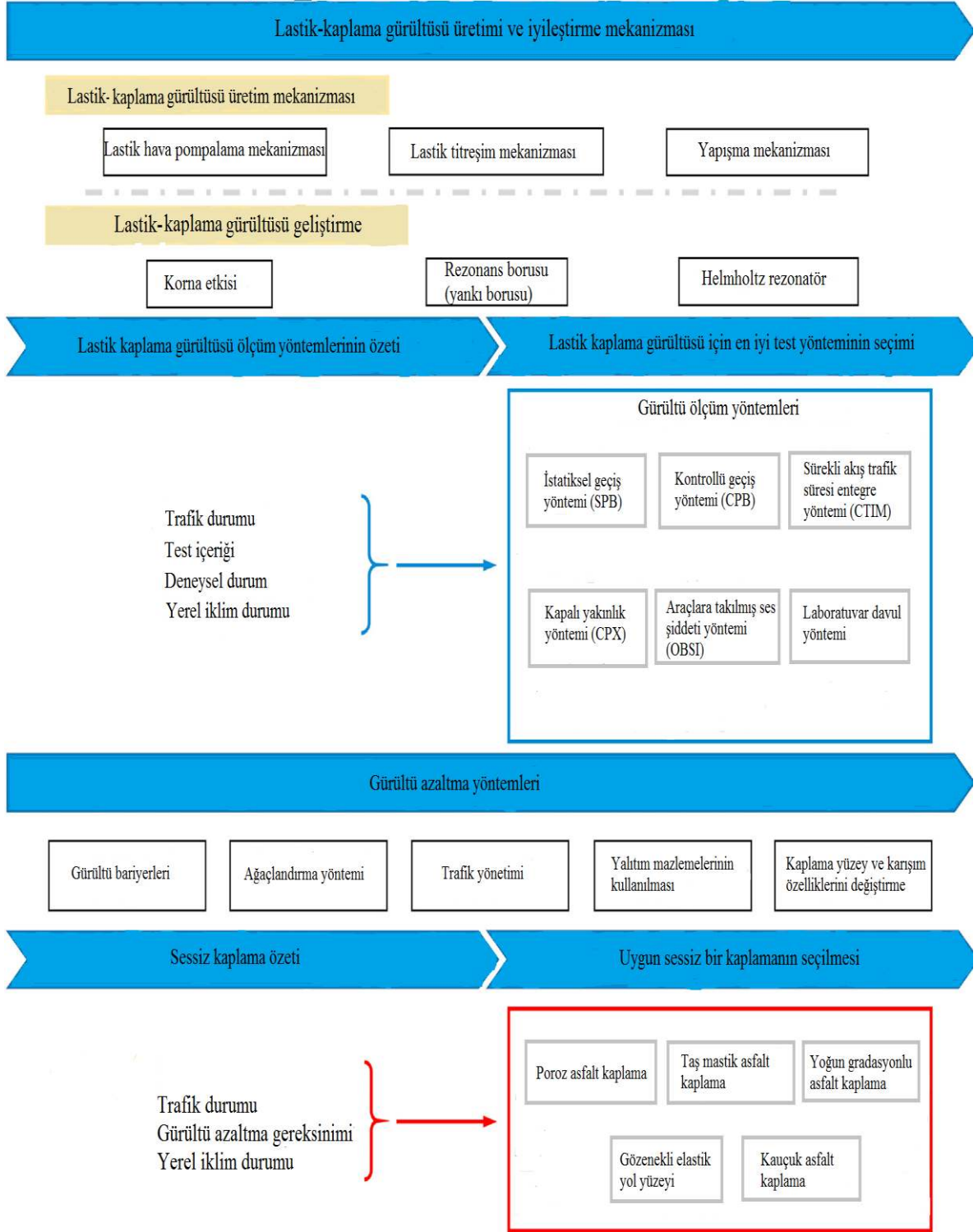
Tüm bu sorunları önlemek için gürültü haritaları hazırlanmalı ve gürültü önleyici perdeleme teknikleri uygulanmalıdır (Erdoğan vd., 2007).

3.3. Yollardan Kaynaklanan Gürültüler

Yollardan kaynaklanan gürültülerde ise daha çok kaplamada kullanılan malzemeler, kaplamanın yüzey özellikleri (sürtünme, gözeneklilik, hava boşluğu içeriği, agrega özellikleri gibi), yol yüzeyindeki eğim, tümsekler, pürüzlülük, yolun eskimesi gibi etkenler etkilidir (Şit vd., 2020).

Genel olarak kaplamanın kendisi içerdiği karışımlardan dolayı gürültü azaltma mekanizmaları mekanik ve akustik empedansı içerir. Buradaki akustik empedans büyük ölçüde yüzeydeki boşluk sistemine, kaplamanın yüzey tipine yani gözenekli olup olmaması gibi sebeplere bağlıdır (Neithalath vd., 2005). Kaplamadaki soğurucu yüzeyler lastik-kaplama etkileşimi sırasında meydana gelen ses enerjisinin etkili yansımaları önler ve gürültünün azalmasına neden olur (Wayson, 1998). Kaplamada bulunan daha yüksek boşluk oranı, hava akışına daha düşük direnç, daha düşük şekil faktörü daha az gürültü oluşumuna sebep olur (Garcia ve Merida, 2005).

Kaplamalar zaman geçtikçe aşınmaya ve kalıcı deformasyona uğrayabilmektedir. Bu durumda da yolda bir süre sonra gürültü meydana gelmektedir. Bu sorunlarla karşılaşmamak için yol yapımı sırasında aşınmaya karşı daha dirençli kaplamaların üretilmesine dikkat edilmelidir. Kaplamada kullanılan malzemelerin ilerde ortaya çıkarabileceği akustik özellikler göz önüne alınarak seçilmesi ve uygulanması gerekir. Çünkü kaplamanın ilk yapıldığı zamanda gösterdiği performansı, kaplamanın zamanla yaşlanmasıyla birlikte, kullanıma açıldıktan bir süre sonra değişebilmektedir.



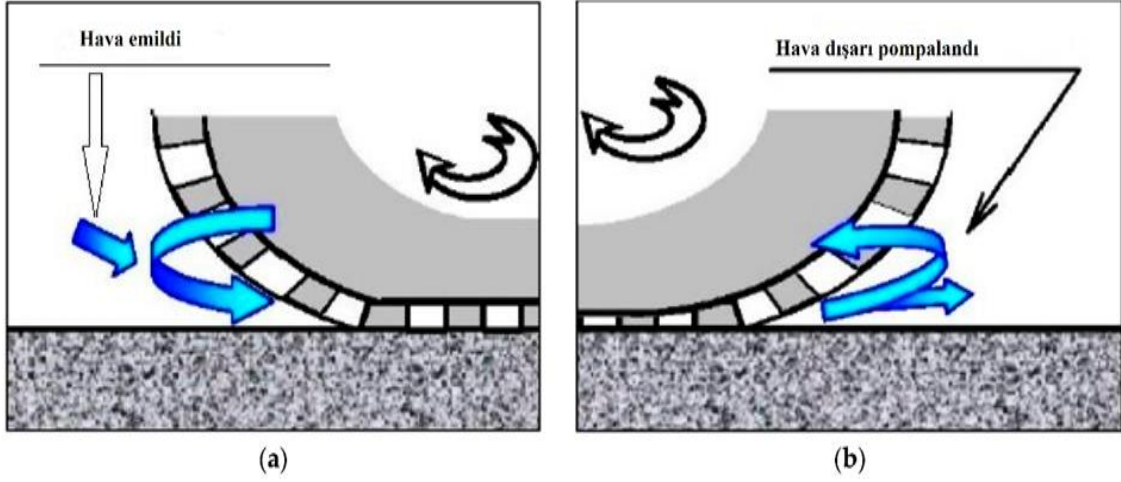
Şekil 4. Lastik-kaplama gürültü testi yöntemi ve uygun sessiz kaplamayı seçme adımları (Ling vd., 2021).

Asfalt kaplamalar agregaya boyutuna ve gözenekli olmasına göre değişmektedir. Maksimum agregaya boyutu daha küçük olan ve gözeneklerin büyük olması gürültü seviyesinde düşüşe neden olmaktadır. Bu nedenle son zamanlarda gözenekli asfalt kaplamaların kullanımı yaygınlaşmıştır (Ding ve Wang, 2017). Bunun yanında sıcaklığında asfalt kaplamalar üzerinde etkisi vardır. Daha sıcak olan kaplamalar daha sessizdir. Lastik-kaplama etkileşiminin de gürültü oluşumuna büyük etkisi vardır. Lastik-kaplama gürültüsünün oluşmasında çok sayıda etken rol oynar; yüzey parametreleri (agrega özellikleri, gözeneklilik, kaplama dokusu, yaş ve bozulma, sertlik), lastik özellikler (lastik sayısı, boyutu, diş yapısı, deseni, lastik yükü ve basıncı), çevresel faktörler (yüzeydeki su, rüzgar, sıcaklık), sürüş davranışı (araç hızı, tipi, ivmesi) (Vaitkus vd., 2017).

3.3.1. Lastik-Kaplama Gürültüsü Oluşturma Mekanizmaları

3.3.1.1 Lastik Hava Pompalama (Air-Pumping) Mekanizması

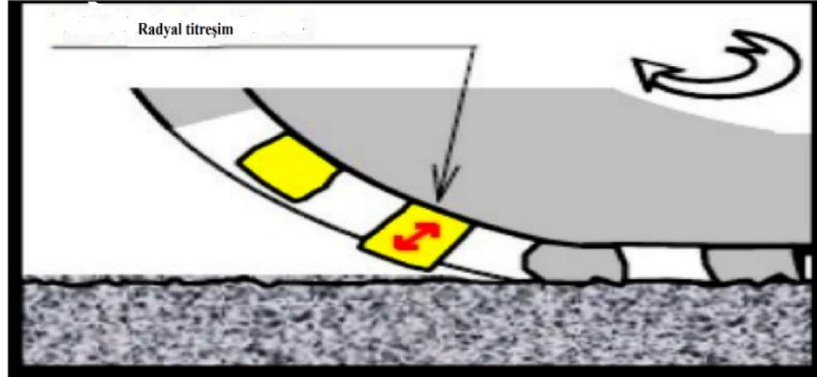
Otomobillerin lastiklerinin sırt kısmı elastik kauçuk malzemeden yapılmıştır. Lastiğin sırt desenindeki geçitler ve oluklar nedeniyle temas anında önemli boşluklar oluşturabiliyor. Lastik kaplama üzerinde döndüğünde, lastik hızının ve yerçekiminden dolayı sırt olukları sıkıştırılır ve deforme olur (Ling vd., 2021). Boş alanlara hapsolmuş hava lastik kaplama ile temasını kaybettikçe dışarı pompalanır. Sonuç olarak hava sıkıştırma ve pompalama etkisinden dolayı gürültü üretilir. Otomobil hızı arttıkça bu olay binlerce kez gerçekleşir ve bu da lastiğin hava pompalama gürültüsü oluşumunun sık bir şekilde yapılmasına neden olur (Beckenbauer vd., 2008). Bu olay günlük hayatta ısıklık çalma ve el çarpma ile üretilen gürültü mekanizmasına benzer. Lastiğin hava pompalama gürültüsünü oluşturma sürecine “hava pompalama (air-pumping)” adı verilir (Ling vd., 2021). Çeşitli çalışmalar, lastik hava pompalama gürültüsünün, lastik-kaplama gürültüsünün ana kaynağı olduğunu ve bunun yanında gürültü seviyesinin kaplamanın mikro-makro dokusundan etkilendiğini ortaya koymuştur (Ling vd., 2021). Kısa sürede yaşanan bu olay yüksek frekansta (>1000 Hz) gürültüye neden olur (Bay ve Güney, 1998).



Şekil 5. Hava pompalamanın şematik olarak gösterilmesi (a: hava girişi, b: hava çıkışı) (Sandberg ve Ejsmont, 2002).

3.3.1.2. Lastik Titreşim Mekanizması

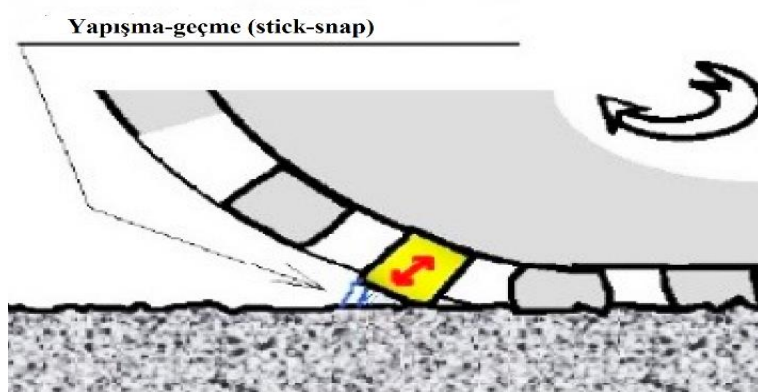
Lastik titreşim gürültüsünün ana kaynağı lastik ile kaplama arasındaki darbelerdir. Yol boyunca yuvarlandığında lastik sırtı ve kaplama yüzeyi çarpışma yaratır. Bu da lastiğin titreşimine ve gürültü oluşmasına neden olur (Iwao ve Yamazaki, 1996). Yuvarlanan lastik dişleri, lastik ile birlikte hareket ettiği esnada kaplamanın temas yüzeyine saniyede yaklaşık yüz kez vurur. Bu olay bir lastik çekicinin saniyede bin kez kaplamaya çarpmasına benzer (Ohiduzzaman vd., 2016). Yolun pürüzlülüğüne ve yola gelen yüke bağlı olarak, yuvarlanma sırasında lastik sıkışır ve bozulur. Bu da lastiğin ileri hızının yatay ve dikey yöne ayrışmasına neden olur (Ling vd., 2021). Lastiğin neden olduğu titreşim, büyük ölçüde lastik sırtı titreşimi ile belirlenir ve lastik sırtı titreşiminden yayılan gürültü, yaklaşık olarak yanal titreşimden 10 dB(A)'den daha yüksektir (Eberhardt, 1981). Lastik titreşiminden kaynaklanan gürültü mekanizması şekil 6'da gösterilmiştir. Lastiğin sırt deseni temas yüzeyinden ayrıldıktan sonra deforme olabilir ve geri kazanılabilir. Bu süreç sırt deseninin titreşmesine ve gürültü üretmesine neden olur (Ling vd., 2021).



Şekil 6. Lastik sırt bloğu/ kaplama etkileşimi (Sandberg ve Ejsmont, 2002).

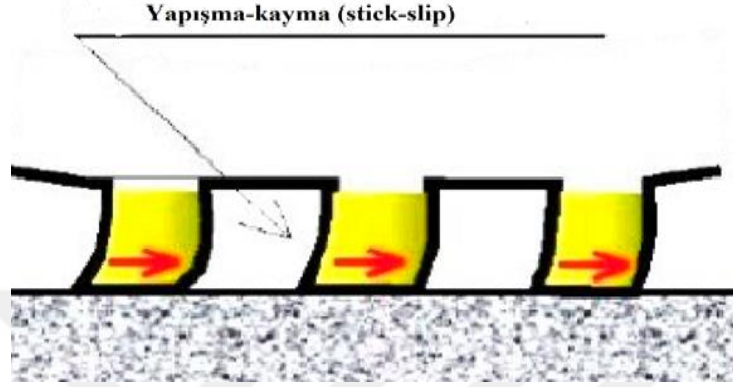
3.3.1.3. Yapışma Mekanizması

Yapışma mekanizmaları arasında yapışma-geçme (stick-snap) ve yapışma-kayma (stick-slip) mekanizmaları bulunur. Stick-snap mekanizması, lastik sırt blokları ile kaplama yüzeyi arasındaki yapışmadan kaynaklanır. Lastik yuvarlandıkça sırt deseni sıkıştırma deformasyonu üretir ve normal kuvvetin lastik ve kaplama pürüzlülüğü üzerindeki etkilere bağlı olarak bozulmaya neden olur (Ling vd., 2021). Lastik deseninin basınç deformasyonu lastiğin kaplama yüzeyine yapışmasına neden olur ve sırt deseni kaplamadan ayrıldığında temas yüzeyi, lastik sırtı ve kaplama yüzeyi arasındaki yapışmayı kırar ve bu da titreşime ve gürültüye sebep olur (Ling vd., 2021). Yapışma mekanizması ıslak koşullarda azalır ancak kuru koşullarda artar (Kroger vd., 2004).



Şekil 7. Yapışma-geçme (stick-snap) mekanizması mekanizması (Sandberg ve Ejsmont, 2002).

Stick-slip hareketi ise bir lastik kaplama yüzeyinden kayarken meydana gelen sarsıntı hareketidir (Ling vd., 2021). Kaplama yüzeyinde kayma olduğu esnada gürültü oluşumuna neden olur.

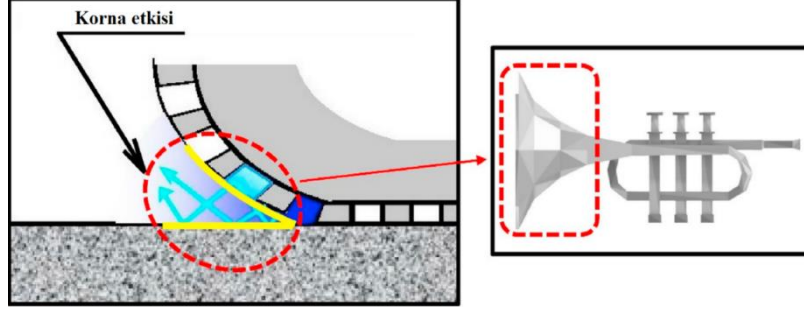


Şekil 8. Yapışma- kayma(stick-slip) (Sandberg ve Ejsmont, 2002).

3.3.2. Lastik- Kaplama Gürültü Artırma Mekanizmaları

3.3.2.1. Korna Etkisi

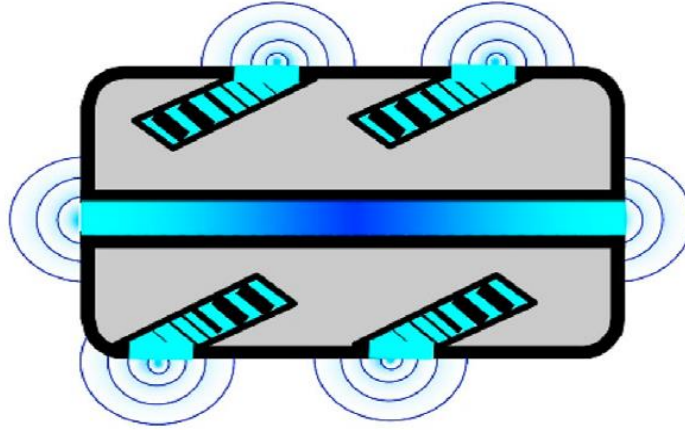
Lastik-kaplama etkileşimi sırasında oluşan ses dalgalarının korna benzeri yapıdaki çoklu yansımaları nedeniyle ses dalgaları ileriye doğru yoğunlaşır ve gürültü seviyesi şekil 9’da gösterildiği gibi önemli bir ölçüde yükseltilir. Çalışmalar korna etkisinin gürültüyü 800-2000 Hz’lik bir frekansla yükseltmede en belirgin etkiye sahip olduğunu ve ses seviyesinin 10-20 dB(A)’e ulaşabileceğini göstermiştir (Ling vd., 2021).



Şekil 9. Korna etkisi (Ling vd., 2021).

3.3.2.2. Rezonans Borusu (Yankı Borusu)

Yankı borusu, sırt oluklarından kaynaklanır. Lastik-kaplama etkileşimi sırasında yol yüzeyi, boru geometrilerine benzer çok sayıda boşluk oluşturur. Yüksek hızda giden bir aracın ürettiği hava akımı, borunun karşısına estiğinde gürültü seviyesi yükselecektir. Şekil 10'da gösterildiği gibi rüzgar üfleyen piyano borusuna benzetilir (Rasmussen vd., 2007).

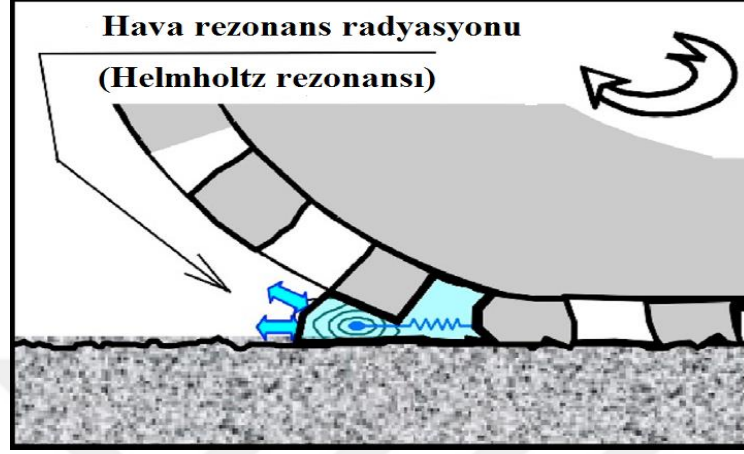


Şekil 10. Lastik ayak izinde oluşan kanallardaki rezonans borusu (Ling vd.,2021).

3.3.2.3. Helmholtz Rezonatörü

Helmholtz rezonatörü, lastik temas alanından çıktığında havanın aşağı yukarı, ileri geri hareket ettiği bir yay gibidir. Bu etki de, bir şişenin tepesine üflemeye benzer

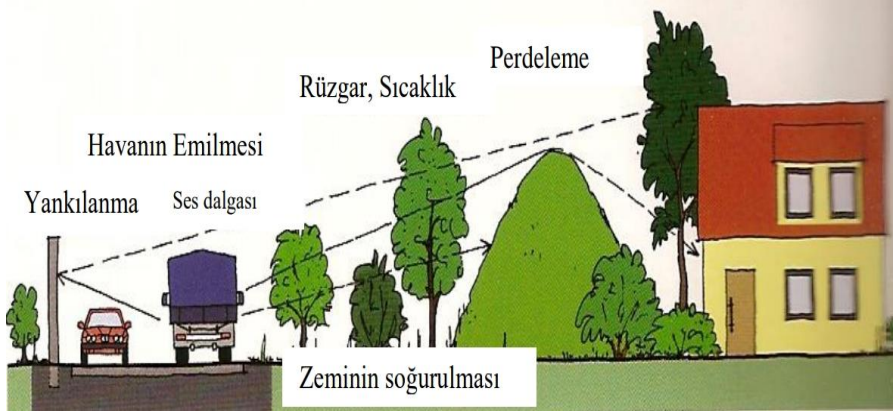
(Rasmussen vd., 2007). Genel olarak, boru rezonansı ve helmholtz rezonatörü, korna etkisinden çok daha küçük etkilere sahiptir (Ling vd., 2021).



Şekil 11. Helmholtz rezonatörü (Ling vd., 2021).

3.4. Çevresel Koşullardan Kaynaklanan Gürültüler

Çevresel koşullar da (rüzgar, nem, hava sıcaklığı, türbülans vb.) kaynak ve alıcı arasındaki mesafede gürültünün oluşmasını etkiler. Rüzgârlı havalarda rüzgârın yönüne göre alıcıya ulaşan gürültü seviyesi farklılık gösterebilir. Rüzgâr yönü kaynaktan alıcıya doğru ise alıcıda hissedilen gürültü seviyesi artar ancak rüzgâr yönü alıcıdan kaynağa doğru ise alıcıda hissedilen gürültü seviyesi daha az olur. Bunun yanında ses dalgaları sıcak ve nemli havalarda daha hızlı hareket eder bu da kaynaktan alıcıya giden gürültünün seviyesinde artışa neden olur. Kaynaktan çıkan gürültü zemin tarafından soğurulduğu durumda alıcıya giden gürültü seviyesi daha az olur. Kaynak ile alıcı arasında ağaçlandırma yöntemi de gürültü seviyesinde azalmaya neden olabilir.



Şekil 12. Gürültü yayılımı üzerinde çeşitli faktörler (URL-2, 2021)

Çevresel koşulların yanında otoyol ile konut arasındaki mesafede gürültü seviyelerini etkiler. Konut ile otoyol arasındaki mesafe arttıkça gürültü seviyesinde de bir azalma olur ancak aksi takdirde gürültü seviyesinde artış olur. Bunun yanında otoyoldan daha uzakta bulunan konutlar, otoyolun ne kadar altında ya da üstünde bulunduğuyla bağlı olarak daha yüksek gürültü seviyelerine maruz kalabilirler. Bu sebeple konutların otoyoldan yokuş aşağı veya yokuş yukarı olması durumunda gürültü seviyesini azaltmak zor olabilir.

4. GÜRÜLTÜ TAHMİN MODELLERİ

Otoyol tasarımında, trafik gürültüsü koşullarında mevcut olan ya da öngörülen değişikliklerin değerlendirilmesine yardımcı olabilmesi için trafik gürültüsü tahmin modelleri gereklidir (Subramani vd., 2012). Modellemenin temel avantajı gürültü seviyelerini ölçüm yapmadan daha kolay bir şekilde, daha kısa bir sürede ve daha düşük bir maliyette tahmin etmektir (Melo vd., 2015). Günümüze kadar yapılan çalışmalarda çeşitli gürültü tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerden bazıları; ABD'den FHWA, Japonya'dan ASJ RTN 2008, İngiltere'den CoRTN, Almanya'dan RLS 90, İsviçre'de Son Road, Avrupa'dan Harmonoise, İskandinav ülkeleri'nden Nord 2000 olarak verilebilir (Garg ve Maji, 2014).

4.1. FHWA Modeli

Federal Karayolu İdaresi Trafik Gürültüsü modeli, bir referans ses seviyesine bir dizi ayarlama yoluyla tahmin edilen bir gürültü seviyesini hesaplar. Referans seviyesi, 15 m'lik bir referans mesafesinde bir aracın geçişinden yayılan maksimum ses seviyesini ifade eden araç gürültüsü emisyon seviyesidir (Garg ve Maji, 2014). Geçtiğimiz 10 yıl boyunca birçok model geliştirilmiş olmasına rağmen FHWA yaptığı işlevsel çalışmalarından dolayı önemli bir model olmaya devam etmektedir (Zhao vd., 2012).

4.2. CoRTN modeli

CoRTN (Yol Trafik Gürültüsü Hesaplaması), Birleşik Krallık Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarı ve Ulaştırma Bakanlığı tarafından geliştirilmiştir. Bir otoyolun en yakın taşıt yolu kenarından 10 m'lik bir referans mesafesinde, hem 1 saat hem de 18 saat referans zamanlarında temel gürültü seviyesini tahmin eder (Garg ve Maji, 2014).

Yapılan bir çalışmada, kentsel ortamlarda yaşayan zümrelerin doğal havalandırma için pencere binalardan hissettiği trafik gürültüsü seviyesi tahmin edilmiştir. Doğal havalandırma sistemi binada yaşayan sakinlerin iç ortamın kalitesini iyileştirmek için dış havayı kullanmasına avantaj sağlarken akustik sorun yaratabilir. Doğal havalandırması

olan bir binada dışarıdaki trafik gürültüsü binada uyuyan ve çalışan kişileri rahatsız edebilir (Kim vd., 2017). Araştırmalara göre 55 dB(A)'den daha yüksek ses seviyelerinde çevresel gürültünün yerleşim alanlarında ciddi rahatsızlıklara neden olduğu görülmüştür (Berglund vd., 1999). Trafik gürültüsünü tahmin etmek için CoRTN ve FHWA iki model kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda trafik gürültüsünün 15.kata kadar açıklığa sahip odalarda iç mekân koşullarının büyük oranda etkilendiğini göstermiştir. Her 30 m yükseklik için gürültü 2.21 dB(A) azalmıştır. Orta ve yüksek katlar (10. İla 50.) arasındaki gürültü seviyesi farklılıkları 8 dB(A)'den az olduğu görülmüştür. İç mekânlarda akustik rahatsızlığı önlemek için; doğal havalandırma için özel gürültü azaltıcılar (akustik plenumlar, susturucular) takılmalıdır. Bunun yanında doğal havalandırma stratejisini benimsemek için etkili ,ühava açıklığı boyutu ve açılma konumunu dikkate alan akustik bir bina düzeni dikkate alınmalıdır (Kim vd., 2017).

4.3. RLS 90 modeli

RLS 90 (yollarda gürültüden korunma yönergeleri) bir yol şeridinin merkezinden 25 m mesafede gürültü emisyon seviyesini hesaplayan bir Alman modelidir. Gürültü emisyon seviyesi, idealleştirilmiş koşullar altında saat başına araç miktarının ve ağır kamyonların yüzdesinin (ağırlık >2,8 ton) bir fonksiyonudur, yani 100 km / s hız, % 5'in altında bir yol eğimi ve özel bir yol yüzeyi analitik olarak ifade edilmiştir (Quartieri vd., 2009).

4.4. ASJ RTN- Modeli 2008

ASJ RTN-Model 2008'de karayolu araçları iki veya dört kategoride sınıflandırılır. Ses gücü seviyesi, araç hızının bir fonksiyonudur ve kaplama tipi, yol eğimi ve gürültü yönlülüğü nedeniyle oluşan gürültüdeki değişiklik düzeltme terimi olarak kabul edilir. Model, yol kavşaklarında ve sinyalize kavşaklarda gürültü hesaplamanın pratik yöntemini, yol tünelleri için gürültü hesaplama yöntemini, çökmüş / yarı yeraltı yollarını, viyadüklerin yapı kaynaklı gürültüsünü, münferit binaların ve yerleşim alanlarının etkilerini ve bunlarla ilgili düzeltmeyi içerir (Garg ve Maji, 2014).

4.5. Harmonoise Modeli

Harmonoise modeli (Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimine İlişkin AB Direktifi için Uyumlaştırılmış Doğru ve Güvenilir Yöntemler) stratejik gürültü haritalaması için uyumlu, doğru ve güvenilir bir model geliştirmek için Avrupa Birliği üyesi devletler tarafından kullanılır (Watts, 2005). Model, hafif, orta ağır ve ağır araçlara karşılık gelen ana araç kategorilerini tanımlar. Bunların yanında modelde diğer ağır araçlar ve iki tekerlekli araçlar da tanımlanmıştır. Her araç kategorisi, her biri lastik / kaplama (yuvarlanma) ve tahrik gürültüsünden katkılara sahip belirli bir ses gücüne sahip iki nokta kaynağı ile temsil edilir (Garg ve Maji, 2014).

Harmonoise referans modeli, geometrik olarak nispeten basit ancak fiziksel olarak karmaşık olan yol durumlarında uzun vadeli ortalama ses seviyelerini tahmin etmek için geliştirilmiştir. Harmonoise, hava emilimi, zemin etkisi, topografya ile koruma (engeller veya binalar dahil), atmosferik kırılma ve atmosferik saçılmanın birleşik etkilerini göz önünde bulundurarak 1/3 oktav frekans bantlarındaki "aşırı" zayıflamayı hesaplar. Referans model, yerel meteorolojik verilere dayalı olarak atmosferin istatistiksel bir tanımını ve ayrıca zemin yüzeyleri ve diğer soğurucu yüzeyler için çeşitli empedans modellerini kullanır.

4.6. Son Road Modeli

Modelde iki tür araç (binek otomobiller ve kamyonlar) dikkate alınır. Referans seviyesi, tek bir aracın 7,5 m mesafede ve yerden 1,2 m yükseklikteki seviyesidir (Heutschi, 2004). Bu model esas olarak ISO 9613'e dayanmaktadır. Ancak model, zemin etkisinin hesaplanmasında ISO 9613 standardından sapmaktadır. Zemin etkisinin hesaplanması, düz homojen zemin üzerindeki bir nokta kaynağının ses alanının sayısal bir çözümünü takip eder (Garg ve Maji, 2014).

4.7. Nord 2000 Modeli

Modelde, alıcıdaki ses basıncı seviyesi denklemle tahmin edilir. Karayolu trafik gürültüsü modelinde araçlar 5 ana kategoriye ayrılır: hafif araçlar (arabalar), çift dingilli ağır araçlar, çok dingilli ağır araçlar, motosikletler ve mopedler (Garg ve Maji, 2014). Kaynak

verileri yoldan 10 m uzaklıkta ifade edilmektedir (Kragh ve Jessen, 2001). Model, atmosferin hızlı türbülanslı hareketleri dâhil olmak üzere belirli hava koşulları için hesaplamaya izin verir. Rüzgâr ve sıcaklık gradyanı gibi meteorolojik parametreler, dikey etkili ses hızı profilini tahmin etmek için kullanılır. Kırılma, eğimli ses ışınları kullanılarak modellenir, burada ışınların eğriliği dikey ses hızı profiline bağlıdır ve yarı analitik bir yaklaşım kullanılarak belirlenir. Ses yayılım modeli, geometrik ışın teorisine dayanır ve arazi şekli ve zemin türünü dikkate alarak kaynaktan alıcıya giden yol boyunca 1/3 oktav bandı ses zayıflamasını hesaplamak için algoritmalar verir (Garg ve Maji, 2014).

Gelişmiş ülkelerde formüle edilen ve benimsenen yeni temel modellerin, ses gücü seviyesi açısından kaynak karakterizasyonundan farklı meteorolojik koşullar yoluyla ses yayılmasına ve yansımaları, kırınımı ve soğurmayı ele alan karayolu trafik gürültüsü modellemesinin tüm yönlerine hitap ettiği görülmektedir. ISO 9613-2, RLS-90 gibi daha basit mühendislik modelleri, ses ışınının yüksekliğine bağlı olarak zemini yansıtan veya emici zeminle zayıflama ile ampirik tabanlı bir seviye artışı üretirken, SonRoad, Harmonoise ve Nord 2000 gibi daha yeni yöntemler tutarlı olanı modellemektedir (Garg ve Maji, 2014). Birkaç modelin karşılaştırılması tablo 9’da gösterilmektedir.

Tablo 9. Farklı teknik özelliklere göre çeşitli trafik gürültüsü modellerinin karşılaştırılması(Garg ve Maji, 2014).

Teknik özellikler	FHWA Model	CoRTN Model	RLS 90 Model	ASJ RTN-Model 2008
Uygulama Alanları	Karayolu, yol ağları	Karayolu, tek trafik akışı	Yalnızca otoyollar, otoparklar, basit dereler	Karayolu / sabit hız / farklı trafik koşullarında
Trafik hacimlerini tahmin eder	Hayır	Hayır	Evet	Hayır
Trafik koşulları	Sabit hız, hızlanma, eğim ve kesinti	Sabit hız, dereceler	Sabit hız, eğimler, yarı kavşaklar, kesintiler	Sabit hız, hızlanma / yavaşlama modu, kavşaklar
Araç türleri	Otomobiller, orta boy kamyonlar, ağır kamyonlar, otobüsler ve motosikletler	Hafif araçlar / ağır araçlar	Hafif araçlar / ağır araçlar / otoparklar	Hafif araçlar (binek otomobiller ve küçük boyutlu araçlar)

Tablo 9'un devamı

Yayılma	1/3 oktav bandında enerji tipi yayılım, araya giren zemin, duvarlar, pervazlar ve bunların kombinasyonlarının atmosferik absorpsiyonu	Enerji türü	Enerji türü hesaplama, bir ortalama dan başlanarak yapılır. Engellerin, bitki örtüsünün, hava emiliminin, yansıma ve kırınımın, yer emiliminin vb. varlığından kaynaklanan düzeltmeleri içerir	Enerji türü Model, geometrik akustiğe dayalı olarak geliştirilmiştir ve bariyerler veya binalar, zemin yüzeyi, hava emilimi ve meteorolojik koşullarla perdeleme etkilerini içerir
Temel model	Araç tipine, kaplama tipine bağlı olarak dikey alt kaynak araç emisyonlarını hesaplar.	Toplam saatlik akış açısından 10 m'lik bir referans mesafesinde hesaplanır.	Yol şeridinin ortasına 25 m mesafede ortalama seviyesi ve saatlik araç miktarı ile ağır kamyonların yüzdesinin bir fonksiyonudur	Ses seviyesi, düzeltme terimlerinde dikkate alınan kaldırım tipi, yol eğimi nedeniyle oluşan gürültüdeki değişikliğin fonksiyonu olarak tanımlanır.
Kaynak özellikleri ve kaynağın yüksekliği	Basit akım enerjisi iki kaynak yüksekliğine paylaştırılmıştır: biri kaldırım seviyesinde ve diğeri kaldırımın 1,5 m yukarısında elde edilir.	Tek akış gürültü seviyeleri, otoyolun en yakın taşıt yolu kenarından 10 m'lik bir referans mesafesinde elde edilir.	Tek akış hesaplamasının başlangıç noktası, yol şeridinin merkezinden 25 m mesafede ölçülebilir. Model aynı zamanda otoparkın ses emisyonunu da değerlendirebilmektedir.	Basit düz akış

5.GÜRÜLTÜ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Kaplamaların gürültü özelliklerini belirlemek için çeşitli ölçüm yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler genellikle gürültüyü oluşturan kaynakları anlamak ve daha sessiz kaplamalar üretmek için yapılmaktadır. Ölçüm sonuçlarından elde edilen veriler inşa edilen daha sessiz kaplamaların gelecekteki akustik performansını tahmin etmek için trafik gürültü modellerinin geliştirilmesinde kullanılmaktadırlar (Ohiduzzaman vd., 2016).

Gürültüyü ölçümleri, ölçüm tekniklerine göre üç kategori altında verilebilmektedir (Ohiduzzaman vd., 2016).

- Yol kenarı gürültü ölçüm yöntemleri,
- Kaynakta gürültü ölçüm yöntemleri,
- Laboratuvar davul gürültü ölçüm yöntemleri.

5.1. Yol Kenarı Gürültü Ölçüm Yöntemleri

Yol kenarı ölçümleri, sürüş şeridinde belirli bir mesafede yerleştirilen mikrofonlar yardımıyla yapılır. Trafik gürültüsüne neden olan tüm etkenleri (lastik-kaplama, aerodinamik gürültüler vb.) ölçmek için kullanılır (Ohiduzzaman vd., 2016).

5.1.1. İstatiksel Geçiş Yöntemi (SPB)

ISO (11819-1) standardına göre sabit hızdaki trafik akışında kullanılan bir yöntemdir (ISO 11819-1, 2005). Farklı yol yüzeylerinin akustik özelliklerini değerlendirmek amacıyla çeşitli yol trafiği bileşimleri için farklı yol yüzeylerindeki trafik gürültüsünü karşılaştırır. Ölçüm, yoldan geçen araçlara belirli bir mesafe ve yüksekliğe yerleştirilmiş bir mikrofon yardımıyla yapılır. Mikrofonun yol şeridinden 7.5m (25ft) uzaklıkta, yol yüzeyinin 1.2m (4ft) yukarısında olması gerekir. İstatiksel olarak örnek büyüklüğü, 100 binek otomobil ve 80 çift/çok akslı kamyonlardan oluşan en az 180 araç olmalıdır (Ohiduzzaman vd., 2016).

İstatiksel geçiş yöntemi, her araç kategorisi için farklı kaplama türlerinin performansını ölçmek için kullanılabilir (Fleming vd., 1996). Böylelikle kaplamanın akustik

performansını zamanla tahmin etmek, aynı tasarıma sahip ancak farklı yaşlarda olan kaplamaların trafik gürültüsünü belirlemek için kullanılabilir (Ohiduzzaman vd., 2016).



Şekil 13. Yol kenarı geçiş ölçüm cihazı (Rochat, 2012).

Geçiş yöntemleri, gürültüye neden olan bileşenlerin (motor, egzoz, aerodinamik, lastik-kaplama) tamamını yol boyunca ölçer. Bu nedenle belirli bir bileşenin gürültüsünün katkısını izole etmek mümkün değildir. Verilerin sonuçları kesin değildir yani değişebilir. Bu yöntem hem zaman alıcı hem de pahalıdır. Ancak kaplamadan kaynaklanan akustik etkileri doğru değerlendirir (Bernhard ve Wayson, 2005).

5.1.2. Kontrollü Geçiş (CPB) Yöntemi

Kontrollü geçiş yöntemi, SPB yöntemine benzerdir. Ancak SPB yöntemine göre daha küçük örnek boyutuyla, yani tek bir araç ya da birkaç araç ile yapılır. Ölçüm yapılırken tek bir araçtan üretilen gürültü, araç sabit hızdayken ölçülür. Bu yöntemin dezavantajı çok yoğun trafikte kullanılmamasıdır. Bu nedenle de dünya genelinde daha az sıklıkla kullanılır (Bernhard ve Wayson, 2005; Jabben vd., 2001).



Şekil 14. Araç gürültüsü ölçümleri (CPB yöntemi) (URL-3, 2021)

5.1.3. Sürekli Akış Trafik Süresi Entegre Yöntemi (CTIM)

Karayollarında sürekli artan trafik hacmi nedeniyle SPB veya CPB yöntemleriyle gürültüyü ölçmek zorlaşmaktadır. Bu sebeple FHWA sürekli akan trafikteki gürültüyü ölçmek için CTIM yöntemini geliştirmiştir. Bu yöntemde mikrofona yol şeridinden 15m (50ft) uzağa ve yol yüzeyinden 3.7m (12ft) yükseklikte kurulmaktadır. CTIM yöntemi, kaplamanın ilk gürültü azalımını ölçmek için geliştirilmiştir. Kaplamanın zaman geçtikçe akustik performansı bu yöntemle izlenebilir (Ohiduzzaman vd., 2016).

5.2. Kaynakta Gürültü Ölçüm Yöntemleri

Kaynakta gürültü ölçümü, lastiğin yakınında gürültü ölçümü anlamına gelir. Kaplamanın lastik-kaplamadan dolayı meydana gelen gürültüyü izole etmek için yapılır. İki tür kaynakta ölçüm tekniği vardır (Dumbacher vd., 1995).

- Kapalı yakınlık (CPX) yöntemi
- Araca takılmış ses şiddeti (OBSI) yöntemi

5.2.1. Kapalı Yakınlık (CPX) Yöntemi

Avrupa’da geliştirilen bir yöntemdir. Lastik-kaplama gürültüsünü ölçmek için ISO (11819-2) standar ile tanımlanmıştır (ISO 11819-2, 2000). Asfalt kaplamalardaki karışımların akustik özellikleri CPX (Close Proximity) yöntemi kullanılarak test edilmiştir. Bu test modeli bitüm miktarına, karışımın hava boşluğu miktarına ve agrega şekline dayanır. Bu sayede asfalt kaplamaların tasarım aşamasında lastik-kaplama gürültü seviyesinin tahmin edilmesini sağlar (Kleiziene vd., 2019).

Ölçüm yapılırken mikrofon test edilen tekerleğe yakın bir noktaya yerleştirilir. Ölçüm yapılan tekerlek ses yalıtımı yapılmış bir treyler üzerine monte edilir. Bu yöntemde mikrofon tekerleğe çok yakın monte edildiği için gerçekte olduğundan daha yüksek şiddette bir gürültü kaydetmektedir. Mikrofonlar, rüzgârlardan ve diğer gürültülerden korunmak için kapalı bir odaya monte edilir. Bu yöntem diğerlerine nispeten daha basittir. Ancak bu ölçüm sisteminden elde edilen verilerin doğrudan bir gürültü tahmin modelinin girdisi olarak kullanılmaz (Ohiduzzaman vd., 2016).



Şekil 15. Asfalt teknolojisi merkezi CPX treyler (Hanson vd, 2004)

5.2.2. Araca Takılmış Ses Şiddeti (OBSI) Yöntemi

OBSI ölçüm yöntemi, 1980’lerin başlarında General Motors tarafından araştırma amacıyla geliştirilmiştir (Oswald ve Donavan, 1980). ABD’de bu yöntem trafik gürültüsünün ölçümünde sıklıkla kullanılmaktadır (Rasmussen vd., 2008). Şu anda Uluslararası Standart AASHTO TP76-13 olarak standartlaştırıldı. Bu standartlara göre

tekerleğe hem ön hem de arka kenarına yerleştirilen iki çift mikrofon takılmaktadır. Tek bir çift mikrofon kullanılıyorsa mikrofon önce tekerleğin ön kenarına yerleştirilir ve çalışma tamamlanır. Ardından mikrofon tekerleğin arka tekerleğine yerleştirilir ve ölçüm yapılır (Ohiduzzaman vd., 2016).

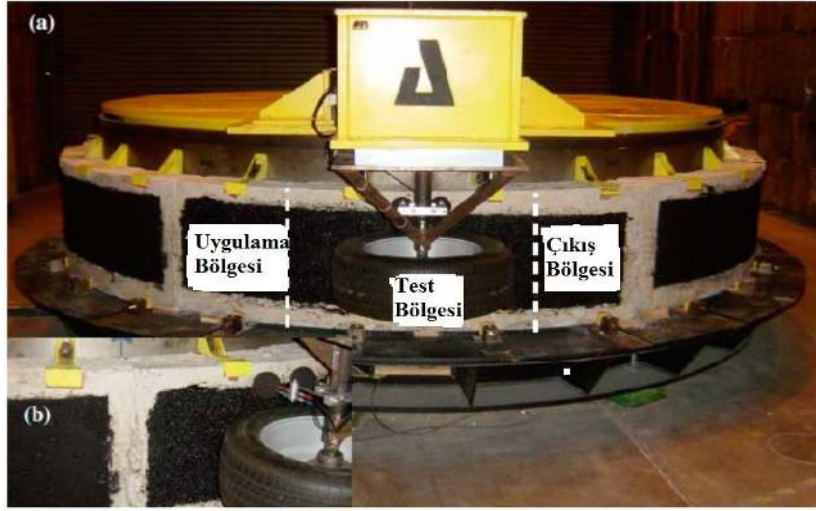


Şekil 16. OBSI test düzeneği(Ohiduzzaman vd., 2016).

5.3. Laboratuvar Davul Yöntemi

Gürültünün yüksek bir hassasiyetle ölçülmesi belirtilen ölçüm yöntemleriyle zordur. Bu nedenle ölçüm sırasındaki küçük farklılıkları izole etmek için bu yöntem kullanılır.

Davul yönteminde, bir tambur üzerine bir test lastiği monte edilir (tipik çap 1,5 m – 2,5 m). CPX yöntemindekine benzer konumlandırma ile test lastiğinin yakınına bir veya daha fazla mikrofon yerleştirilir. Bu test düzenlemesi için, tambur, doğru verileri elde etmek için gerçek test yüzeyine benzeyen bir yüzeyle donatılmalıdır. Böyle bir tesis, kaplamanın dayanıklılığı ve sürtünmesinin test edilmesi için de kullanılabilir (Bernhard ve Wayson, 2005; Kowalski, 2007). Bu yöntem, diğer alan gürültüsü ölçüm test yöntemlerinin çoğu için geçerli olmayan hava koşullarından bağımsızdır. Ancak, tambur güç ünitesinden gelen arka plan gürültüsü her zaman bir sorundur ve özel önlemler gerektirir. Şekil 17, tambur yönteminin görünümünü temsil etmektedir (Ohiduzzaman vd., 2016).



Şekil 17. Laboratuvar lastik-kaplama test cihazı (Kowalski, 2007)

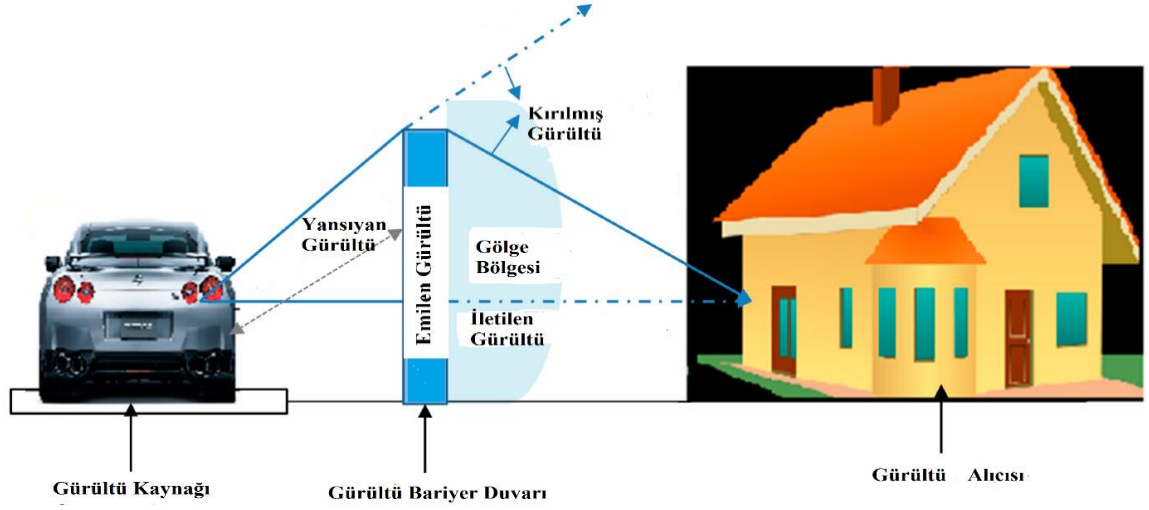
6. GÜRÜLTÜ AZALTMA YÖNTEMLERİ

Trafikten kaynaklı gürültülerin zamanla artması sonucunda dünya çapında çeşitli ulaştırma otoriteleri tarafından gürültü azaltma yöntemleri araştırılmıştır. Herhangi bir gürültü azaltma tekniğini benimsemeden önce çok kriterli bir kaplama analizi yapmak gereklidir (Cafio vd., 2002; Torres-Machi vd., 2015; Yepes vd., 2016). Bu analiz, bir gürültü azaltma tekniğini seçmeden önce dikkate alınması gereken teknik fizibilite, maliyet, estetik hususlar, genel kamu yararı gibi hususlar içerir (FHWA, 2011).

6.1. Gürültü Bariyerleri

Gürültü bariyerleri, otoyol tesislerinde yaygın olarak kullanılan gürültü azaltma tekniklerinden biridir. Bunlar, otoyol ve otoyol boyunca alıcılar arasına yerleştirilmiş sağlam engellerdir (Ohiduzzaman vd., 2016). Gürültü bariyerleri, gürültü kaynakları ile alıcılar arasında ortaya çıkan gürültünün yayılmasını engeller (Renterghem vd., 2015). Gürültü bariyerlerinin kullanılmasının amacı, alıcıya giden gürültünün 7 ila 10 dB(A) arasında azaltılmasıdır (Bowlby vd., 2016). Gürültüye neden olan kaynakla alıcı arasına bir gürültü bariyeri yerleştirildiğinde gürültü seviyesinde bir düşüşü algılayan akustik bir “gölge bölgesi” oluşturur. Bu özellikle gölge bölgesinin olduğu yakın mesafelerde etkilidir (Renterghem vd., 2015). Gürültünün bir kısmı bariyerler tarafından emilirken bir kısmı da bariyerlerden alıcıya geri yansır. Bariyerlerdeki gürültü azalımı, duvarın yüksekliğine ve alıcı ile kaynak arasındaki yerleşimine bağlıdır (FHWA, 2011; Bendtsen, 2010). Bariyerden alıcı ya da kaynak mesafesinin artmasıyla kaynak ile alıcı arasındaki doğrudan ses yolunun uzunluğu azaldığından korunması azalır (Renterghem vd., 2015). Aynı zamanda bariyer duvarının kalınlığı da gürültü azaltımında önemlidir (Bendtsen, 2010). Gürültü bariyerleri genelde üç kategoriden oluşur. Sağlam dikey duvarlar, yol boyunca toprak pervazlar, toprak banketler ve sağlam dikey duvarların kombinasyonları (FHWA, 2011). Bunların içinde yol boyunca yapılan toprak banketlerin maliyeti daha ucuz ve daha çevre dostudur. Ancak bunların yapımı için büyük miktarda araziye ihtiyaç duyulur. Sağlam dikey bariyerler beton, çelik, şeffaf malzemeler, ahşap, tuğla vb. yapılabilir. Ancak bunların olumsuz yönleri de görülmektedir, beton bariyer duvarının inşaatı çok pahalıdır (mil başına 2,1 milyon dolar) (Hanson vd., 2004; Wang vd., 2012). Bunun yanında beton gürültü bariyerleri çok yüksek

ses yansıtma özelliğine sahiptir, bu da yolcu ve sürücülerin konforunu olumsuz yönde etkiler (Campbell, 2000; Zhu vd., 2008). Bariyerler yolun her iki tarafına da yerleştirilirse, gürültü 6 dB(A)'ya kadar yükselebilir. Dikey duvar bariyerler ile yol arasına çeşitli bitkilerin ekilmesi gürültüyü dağıtabilir (Ohiduzzaman vd., 2016).

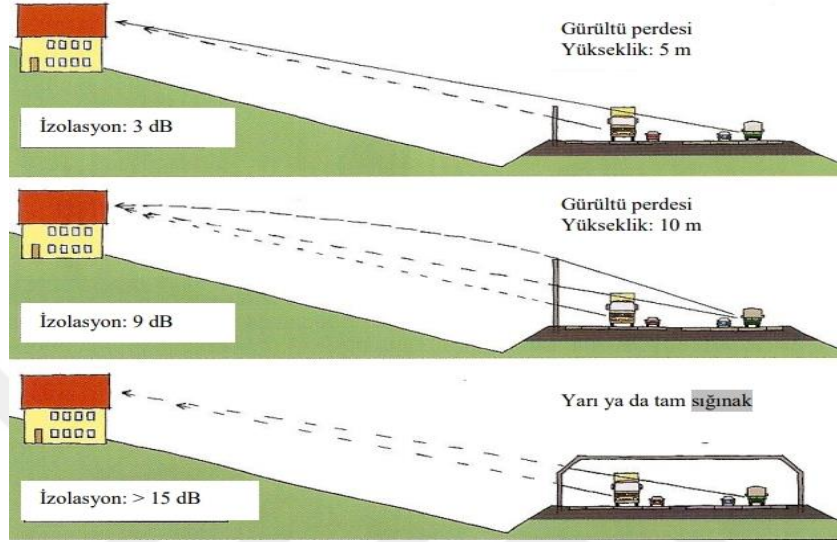


Şekil 18. Bariyer duvarından kaynaklanan gürültü dağılımını gösteren çizim (FHWA, 2011).



Şekil 19. Gürültü bariyeri (URL-4, 2021).

Yapılan konutların otoyoldan daha yüksek ya da daha aşağıda olma durumları olabilir. Böyle durumlarda gürültü seviyelerini azaltmak zor olabilir. Bu sebeple yapılan gürültü bariyer boyları dikkate alınabilir ya da üstü kapalı alanlar yapılabilir.



Şekil 20. Yükseklerde bulunan alanlarla ilgili alınabilecek önlemler(URL-2,2021)

Yapılan araştırmalara göre gürültü bariyerleri zemin tipinden de etkilenir (Isei vd., 1980; L'Esperance vd., 1989). Bir bariyer gözenekli bir zemine göre sert bir zemine yerleştirildiğinde daha az koruma sağlar (Renterghem vd., 2015). Örnek çalışmalara göre gürültü bariyerleri bir yolun her iki tarafına da paralel olarak yerleştirildiğinde, bariyerler arasında birden fazla yansıma olabilir. Bu yöntemde yolun bir tarafındaki tek bir gürültü bariyerine göre performansı önemli ölçüde düşürebilir (Watts, 1996). Ancak tek bir gürültü bariyerinin olmasının bile gürültü azalımı için faydalı olduğu gösterilmiştir (L'Esperance vd., 1989; Rawlins, 1976).

Gürültü bariyerlerinin başka bir çeşidi de toprak bermlerdir (toprak seddeler). Yolun kenarında yeterli alan olması durumunda toprak bermlerinin oluşturulması bir alternatiftir (Renterghem vd., 2015). Yapılan örnek çalışmalardan alınan tavsiyelere göre, düz bir gürültü bariyerinden biraz daha yüksek bir toprak bermi yapmaktır (Kotzen ve English, 2009).

Yapılan çalışmalarda; toprak berminin üstüne küçük bir perde yerleştirmek ya da düz perdeli bir berm yapmak önerilmiştir (Hutchins vd., 1984). Toprak bermi oluşturulan malzemelerin akustik özelliklerinin etkili olduğu vurgulanmıştır (Busch vd., 2003). Yumuşak bir berm akustik olarak benzer tepe yüksekliğine sahip bir gürültü duvarından daha iyi performans gösterdiği görülmüştür (Renterghem vd., 2015). Toprak bermler şekil olarak üçgen ya da trapez şeklindedir.

Okul gibi eğitim alanlarının yollara yakın olması da gürültüden dolayı ortaya çıkan rahatsızlığı arttırmaktadır. Okullardaki öğrencilerin trafik gürültüsünden rahatsız olduğu düşünülüp bunun için bir çalışma yapılmıştır (Avşar ve Gönüllü, 2005). İstanbul'un Fatih ilçesindeki tüm eğitim binalarının dış gürültü seviyelerinin ölçüm sonuçlarına göre 55 dB(A)'den yüksek olduğu görülmüştür (Avşar ve Gönüllü, 2000). Ancak çoğu ülkede gürültü yönetmelikleri eğitim binaları için maksimum dış gürültü seviyesinin 55 dB(A) olması gerektiği önermektedir. Bundan dolayı okul ve karayolu arasında gürültü bariyerlerinin yapılması önerilmiştir. Bu bariyerlerin bitki örtüsü gibi doğal bariyerler, ahşap veya beton bariyerler ya da gözenekli asfalt olarak bilinen yüzey kaplamalar gibi gürültü engelleyici bariyerler olabileceği öne sürülmüştür (Avşar ve Gönüllü, 2005). Bu bariyerler çeşitlerinin gürültü azaltma değerleri ve avantaj-dezavantajları ile ilgili yapılan bir çalışmada tablo 10'daki sonuçlar bulunmuştur.

Tablo 10. Gürültünün azaltılmasında bariyerlerin rolü (Avşar ve Gönüllü, 2005).

Bariyer Türleri	Akustik Fonksiyon	Gürültü Azaltma dB(A)	(+) Avantaj (-) Dezavantaj
Ağaçlar ve çalılar	Emici	3-4	(+) İyi estetik görünüm sağlar ve emisyonları azaltır. (-) Sınırlı gürültü azaltma
Dolgu üzerine çalılar	Emici-yansıtıcı	15-16	(+) İyi estetik görünüm sağlar ve gürültü azaltmada etkilidir. (-) Geniş alanlara ihtiyaç duyar.
Gözenekli (poroz) kaplama	Emici	5	(+) Pratik (-) Sınırlı gürültü azaltma

Tablo 10'un devamı

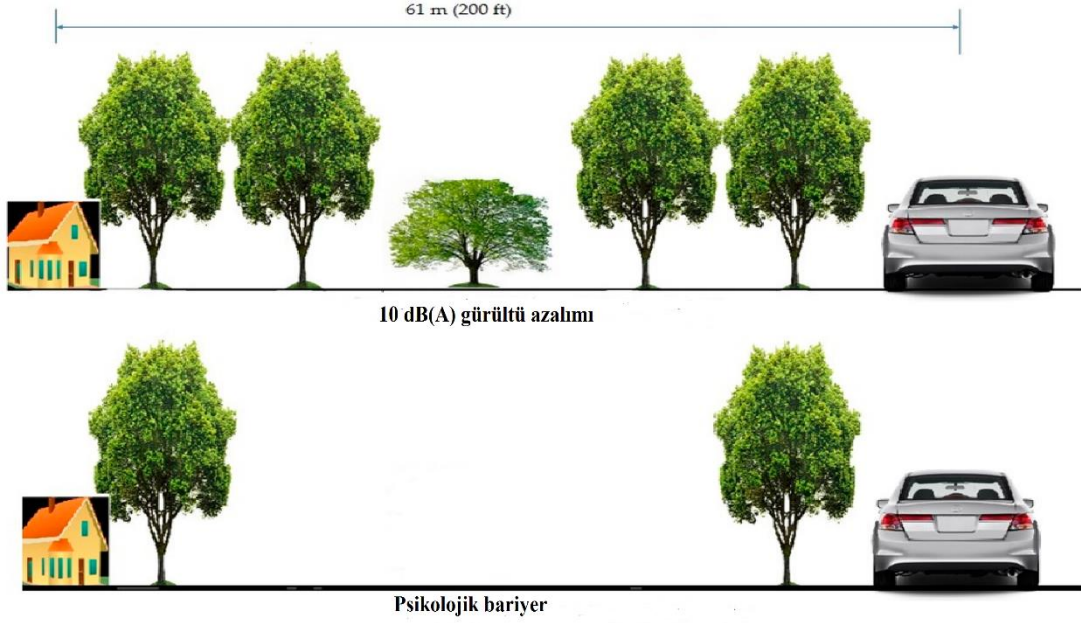
30 m genişliğinde yola paralel uzun ve sık ağaçlardan oluşan bir sıra bitki örtüsü	Emici	5	(+) İyi estetik görünüm (-) Sınırlı gürültü azaltma
30 m genişliğinde yola paralel uzun ve sık ağaçlardan oluşan iki sıra bitki örtüsü	Emici	10	(+)İyi estetik görünüm ve emisyonları azaltır.
Yola çıkmadan 2m yüksekliğinde beton bahçe duvarının yapılması	Emici-yansıtıcı	10	(+)Gürültü azaltmada etkilidir (-)Pahalı, estetik değil
50m uzunluğunda ve 1.5m yüksekliğinde arka arkaya ve 10m genişliğinde çalılar	Emici	2	(+)İyi estetik görünüm (-)Sınırlı gürültü azaltma

Tablo 10'a göre, 2 m beton duvar gibi bariyerler ortalama 10 dB(A) gürültü azalımı sağlamıştır. Ağaç ve çalılardan yapılan bariyerler gürültüyü 3-4 dB(A) azaltmıştır. Dolgu üzerine yapılan çalılar (yeşil yüzeyli duvar) yaklaşık 15-16 dB(A) gürültü azalımı sağlamıştır. Gözenekli asfaltlar 5 dB(A) gürültü azalımı sağlamıştır. 30 m genişliğinde bir yola paralel ve sık ağaçlardan oluşan bir sıra şeklindeki bariyerler 5 dB(A) gürültü azalımı sağlarken, iki sıra şeklindeki bariyerler 10 dB(A) gürültü azalımı sağlamıştır (Avşar ve Gönüllü, 2005).

6.2. Ağaçlandırma Yöntemi

Trafik gürültüsünü azaltmanın yöntemlerinden biri de yol kenarına ağaç dikmektir. Kentsel planlamada bitki örtüsü, günümüzde yaşam kalitesini iyileştirmenin ilginç bir yolu olmuştur. Bu sebeple yol trafiğinin gürültüsünü azaltmak için kullanılan yöntemlerden biri olmuştur (Urrestarazu vd., 2017). Ağaçlandırma yöntemi kolay bir şekilde görsel olarak çevrenin yeşillendirilmesine ve manzaranın güzelleşmesine yardımcı olabilir (Renterghem vd., 2015). Bitki örtüsüne bağlı olan gürültü azalması ağaçların yüksekliğine ve bitki örtüsünün kuşağının genişliğine bağlıdır. Genel olarak ağaç yüksekliği 10-12 m olduğunda gürültü azaltma eğilimi artmaktadır. Ancak ağaç yüksekliğindeki herhangi bir artış gürültü azaltma üzerinde olumsuz bir etki yaratır (Ohiduzzaman vd., 2016). FHWA, 61 m (200ft)'lik yoğun bir bitki örtüsünün gürültüyü neredeyse 10 dB(A) azalttığını göstermiştir (FHWA, 2011). Dikilen ağaçlar bir gürültü kaynağına ya da alıcıya yakın dikildiğinde daha çok etkilidir. Ancak kaynak ile alıcının ortasına dikildiğinde daha az etkili olur. FHWA,

ağaçlandırma yönteminin çevresel faydasının yanında insanlara olumlu psikolojik etkiler sağladığını da belirtmiştir (Ohiduzzaman vd., 2016).



Şekil 21. Ağaçlandırma yöntemi (FHWA, 2011).

Sayısal araştırmalar, ağaç kuşağının iyi tasarlanmış olması koşuluyla dar ağaç kuşaklarının bile trafik gürültüsünü azaltabileceğini göstermiştir (Renterghem vd., 2012). 15m derinliğinde optimize edilmiş bir ağaç kuşağının 1m veya 2m yüksekliğindeki tek bir ince beton gürültü duvarı ile rekabet edebileceği tahmin edilmektedir. Bunun yanında 30 m derinliğindeki bir ağaç kuşağı, 3m veya 4m inşa edilmiş gürültü duvarının sağladığı korumaya yakın bir gürültü koruması sağlayabilir (Renterghem vd., 2013). Dört şeritli bir yolun yakınında 15m derinliğinde bir ağaç kuşağı bulunan bir alanda 70 km/s sabit hıza sahip araçlardan kaynaklanan gürültünün azalımı 2.7-5 dB(A) arasında değiştiği görülmüştür (Renterghem vd., 2015).

Bir çalışma, 5m derinliğindeki bitki örtüsü bariyerlerinin trafik gürültüsünü azaltmak için ideal bir derinlik olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada bitkisel bariyer olmadan gürültü seviyesi 78 dB(A) olarak ölçülmüştür. Ortalama olarak bitkisel bariyerin gürültüsü 9-11 dB(A) arasında azalttığı görülmüştür (Ow ve Ghosh, 2017).

Yapılan birkaç çalışmada; bitkisel bariyerlerin olduğu bir ortamda kamyonlar baz alınarak ölçüm yapıldı ve sonuç olarak gürültü seviyesinde azalma olduğu görüldü (Fujiwara vd., 1998). 20 m genişliğinde bir ağaç kuşağı kullanmış ve gürültü seviyelerinde maksimum zayıflamanın 12 dB(A) olduğunu saptamıştır (Kragh, 1981). Yol boyunca gürültü azalmasına çeşitli çitler ve çalıların da etkisi olduğu öne sürülmüştür (Renterghem vd., 2014). Yoğun çitlerin bulunduğu alanda taşıt gürültüsünün yaklaşık olarak 1.1-3.6 dB(A) aralığında azaldığı görülmüştür (Renterghem vd., 2015).

Ambulans ve kamyonlar gibi ağır araçların oluşturduğu gürültüye ilişkin bitkilerin dikim yoğunlukları (seyrek-orta-yoğun) ve kaynaktan uzaklıkları dikkate alınarak karşılaştırılması yapılmıştır (Ow ve Ghosh, 2017). Çalışma sonuçları Tablo 11’de özetlenmiştir.

Tablo 11. Ağır ve acil durum araçları için (kaynak, 5, 10 m uzaklık) ve seyrek, orta ve yoğun dikim planları arasında gürültü azaltma (Ow ve Ghosh, 2017).

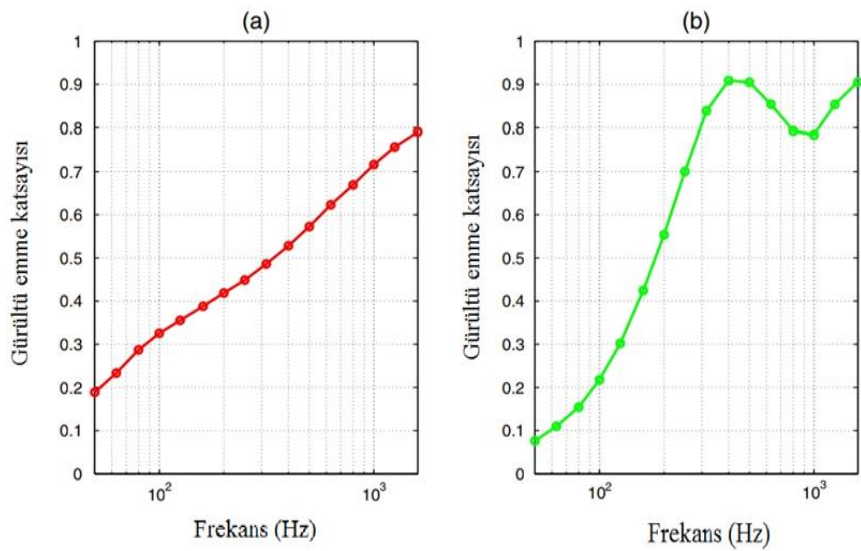
Bitki Türü	Otoyola Uzaklık	Araç Tipi	Gürültü yoğunluğu (dB)
Seyrek ila orta dikim	Kaynak	Kamyon	69.5
	Kaynak	Sirenli ambulans	71.9
	5	Kamyon	67.4
	5	Sirenli ambulans	68.5
	10	Kamyon	66.2
	10	Sirenli ambulans	65.1
Yoğun dikim	Kaynak	Kamyon	68.6
	Kaynak	Sirenli ambulans	70.1
	5	Kamyon	65.9
	5	Sirenli ambulans	65.2
	10	Kamyon	62.7
	10	Sirenli ambulans	63.3

Yapılan ölçümlere göre seyrek, orta ve yoğun dikimler arasında pek bir fark görülmemiştir. Ancak yoğun dikim diğer ikisine göre biraz daha iyi performans göstermiştir (Ow ve Ghosh, 2017).

Gürültü bariyerleri ve ağaçlandırma yöntemlerinin yanında gürültüyü azaltmak için yeşil yüzeyli duvar sistemi de kullanılmaktadır. 4 m yüksekliğindeki gürültü duvarını yeşil bitki tabakası ile kaplayarak yolun her iki tarafına da yerleştirilen yeşil yüzeyli gürültü azaltma duvarının inşa edildiği bir çalışma yapılmıştır. Çalışma sonunda gürültü korunmasında artışın olduğu görülmüştür (Jean, 1998; Defrance vd., 2013). Bir set üzerinde yol olması durumunda ise yeşil duvar alt tabakasının gürültüyü azaltıcı etkileri genellikle düz araziye göre 2 dB(A) daha düşüktür (Defrance vd., 2013). Ancak çökmüş bir yol altyapısı üzerinde yeşil duvar etkisi genellikle düz araziye göre yaklaşık 2 dB(A) daha yüksektir (Defrance vd., 2013).

Bu konuda yapılan birkaç çalışma bulunmaktadır; gürültü bariyerinden 1 m uzaklıkta olduğu düşünülen yaya bir alıcı için gürültü azaltma yaklaşık 4 dB(A) olduğu görülmüştür (Defrance vd., 2013). Yolun her iki tarafında bulunan gürültü bariyeri tamamen yeşillikle kaplandığında alt alıcı bölgeler için 10-12 dB(A), üst alıcı bölgeler için ise 7-12 dB(A) arasında bir gürültü azalımı sağlanmıştır (Renterghem vd., 2015). Ancak gürültü duvarının sadece yarısı emici hale getirildiğinde (yeşillendirildiğinde) tüm alıcı bölgelerde azalma yaklaşık 3-4 dB(A) arasında olmuştur.

Bir çalışma örneğinde yeşil yüzeyli çatı ve yeşil yüzeyli duvar karşılaştırılması yapılmış ve yeşil yüzeyli duvarın gürültü emme potansiyelinin daha iyi olduğu görülmüştür.



Şekil 22. Yeşil çatı (a) ve yeşil duvar (b) gürültü emme performansları (Renterghem vd., 2015).

Yapılan bir çalışmada yarı kurak bir iklimde gürültü bariyer duvarına yeşillendirme yardımıyla modüler bitkisel bir ünite yöntemi geliştirilmiştir. Bu modüler ünite, yarı kurak alanlarda gürültü azaltımını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır (Urrestarazu vd., 2017). Bu tasarım çalışması yaz aylarında az yağış olduğu bölgelerde orta düzeyde gübreleme de gerektirebilir. Bu yöntem aynı zamanda gürültü azaltma duvarının estetik görünümü de iyileştirebilir (Urrestarazu vd., 2017).

Araştırmalara göre Kuzey İspanya gibi yılda yaklaşık 1.000 mm yağış alan bölgelerde üzerine bitki saçaklarının (kanopi) başarıyla yerleştirildiği duvarlar gürültü bariyeri olarak kullanılabilir. Daha kurak bölgelerde (güney ispanya gibi) bitki büyümesi ciddi anlamda sınırlıdır. Bu sebeple yapılan tasarıma bir sulama sisteminin dahil edilmesi gerekir (Urrestarazu vd., 2017).

İspanya Almeria Üniversitesi'nde, yaklaşık olarak kuzey-güney yönünde bir bitki saçaklarını destekleyebilen gürültü azaltımı için özelliklere sahip olan bir duvar inşa edildi. Bitki örtüsü 2.5 m yüksekliğinde ve 2.5 m genişliğindedir.



Şekil 23. İspanya Almeria Üniversitesi'nde yapılan duvar (Urrestarazu vd., 2017).

6.3. Gabion Duvarlar

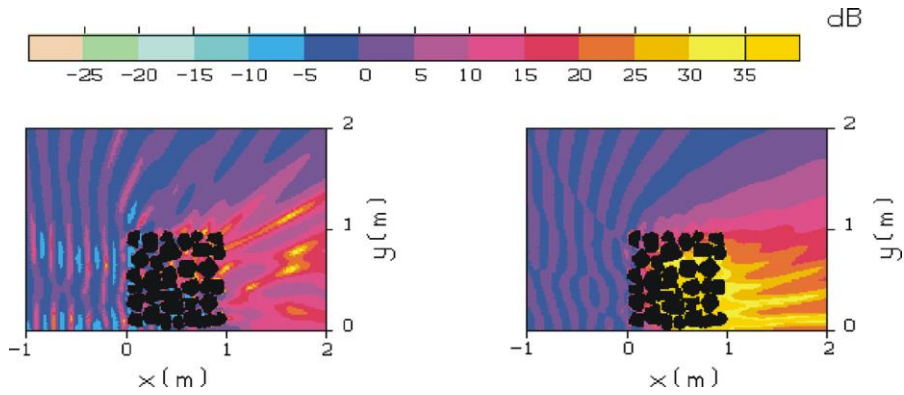
İnşaat mühendisliği ve yol yapımı uygulamalarında kullanılan içi taşla doldurulmuş kafes serilerden oluşan yapıdır (Kotzen ve English, 2009). Yapılan sayısal tahminler,

gabion yapıların kentsel alanlarda gürültü bariyeri olarak kullanılabileceğini göstermiştir (Koussa vd., 2013). Büyük taşlardan yapılmış ve taş boyutunda değişiklik olan 1 m yüksekliğindeki çeşitli gabyonların akustik performansı incelenmiştir. Bu tür gabyonların, bariyerin hemen arkasındaki yaya yolunda yürüyen kişiler için 8 dB(A) kadar gürültü kaybı sağladığı görülmüştür (Koussa vd., 2013). Bu duvarlardan akustik performansın sert taşlar yerine gözenekli taşlar kullanılarak artırılabilir de görülmüştür (Defrance vd., 2011).



Şekil 24. Gabion duvarlar (URL-5,2021).

Şekil 25'te sert zemine yerleştirilmiş 1 m yükseklik ve 1 m genişliğinde gabion bariyerinin 1000 Hz frekansta kullanılan taş çeşitlerine göre gürültü azalımı gösterilmiştir.



Şekil 25. Sol tarafta sert taşların olduğu ve sağ tarafta da genişletilmiş kilden taşların olduğu gabion örneği (Defrance vd., 2011).

Yukarıdaki şekle göre sert taşlardan yapılmış gabion duvarın gürültüyü azaltma potansiyeli yumuşak kil taşlardan yapılmış duvara göre daha azdır.

6.4. Trafik Yönetimi

FHWA, gürültü azaltılmasında trafik yönetiminin etkili bir yöntem olduğunu ileri sürmüştür (FHWA, 2011). Bir yerleşim alanında belirli yolları kullanan kamyonların yasaklanması, kullanılan kamyonların ise sadece gündüzleri kullanılması, trafiğin düzenli bir şekilde hareketini sağlamak ve daha az gürültüye sebebiyet vermesi için verimli bir trafik planlamasının yapılması bu yöntemi kapsamaktadır. Bu yöntem hem etkili hem de ucuz olduğu için dünyadaki çoğu ulaştırma otoritesi tarafından kullanılmaktadır (Ohiduzzaman vd., 2016).

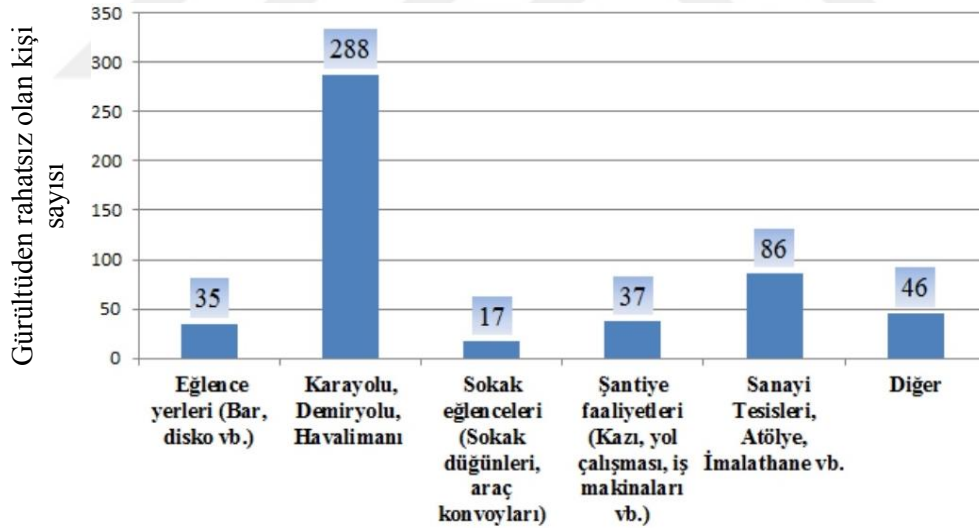
Sürücülerin trafik kullarına uymasının gözetlemek de gürültü seviyesinde farklılığa sebep olabilir. Trafikte hız sınırına uyulması ve araçların seyrinin trafik polislerince takip edilmesi ortaya çıkan gürültü seviyesinde azalmaya sebep olabilir. Sürücüler tarafından kullanılan korna sesleri aynı anda yüksek oranda gürültüye sebep olur bu nedenle daha az gürültü oluşturacak şekilde kullanılmasına dikkat edilmelidir.

6.5. Gürültü Haritalarının Çıkarılması

Gürültü haritaları bir bölgede yaşayan kişilerin trafikten dolayı ortaya çıkan gürültüden ne kadar rahatsız olduklarını saptamak için yapılan bir yöntemdir. Bu yöntem sayesinde gürültüden yüksek oranda etkilenen bölgeler belirlenip gerekli önlemler alınır. Bunun için gürültü haritaları çıkarılacak alanların bina verileri, arazi verileri, binanın konumu ve yüksekliği, binada yaşayan kişi sayısı ve coğrafi veriler gibi veriler, bunların yanında da gürültüye neden olan etkenlerin (motorlu taşıt, otomobil, uçak sayıları ve tipleri vb.) verileri dikkate alınarak gürültü haritaları çıkarılır (URL-6, 2021). Elde edilen bu veriler ile mevzuata göre hesaplama metotlarına uygun şekilde gerekli hesaplamalar yapılır ve gürültü haritaları elde edilir. Gürültü haritaları sonucuna göre gerekli bölgelerde gürültüyü engellemek için önlemler alınır.



Şekil 26. Elazığ ilinde yapılan bir gürültü haritası çalışma örneği (Taşkaya ve Sesli, 2018).



Şekil 27. Elazığ ilindeki en önemli gürültü kaynakları (Taşkaya ve Sesli, 2018).

Gürültü haritalarının kökeni 1970'lere kadar uzanabilir (Wang vd., 2017). Trafik gürültüsü haritaları çevrede oluşan gürültü tespiti için önemli bir araçtır. Trafik koşulları ve bir yolun ses basıncı zamanla değişir o yüzden bir bölgenin gürültü haritaları sürekli

güncellenmiştir (Xue vd., 2021). Günlük hayatımızda gürültü haritaları, gürültü seviyesinin dağılımını gösterip akustik ortamı değerlendirmek için kullanılan en önemli yöntemlerden biridir (Suarrez ve Barros, 201). Özellikle büyük şehirlerde trafikten kaynaklanan gürültünün artmasıyla buna daha çok ihtiyaç duyulmuştur. Oluşan rahatsızlık sonucu bölgede yaşayanlar bu durumdan ciddi bir şekilde şikayetçi olmuşlardır (Xue vd., 2021). Çin’de yapılan bir gürültü raporuna göre sakinlerin yaşam kalitesini yüksek oranda etkilediği için şikâyetler gün geçtikçe artmıştır (Xue vd., 2021). Tablo 12’de yıllara göre Çin’de yaşayan sakinlerin şikâyet oranları gösterilmiştir. İçinde bulunulan bu durum göz önünde bulundurularak gerekli önlemleri almak için çalışmalar başlatılmıştır ve akustik durumunu göstermek için gürültü haritaları hazırlanmıştır (Xue vd., 2021).

Tablo 12. 2014'ten 2018'e kadar ulusal gürültü şikayetleri (Xue vd., 2021).

Yıllık	2014	2015	2016	2017	2018
Toplam gürültü şikâyeti sayısı (10.000)	45.70	35.40	52.20	55.00	23.60
Toplam çevresel şikâyetlerin oranı (%)	56.40	35.30	43.90	42.90	35.50

Madrid halkı öncelikle 1972’de bir gürültü ölçüm ağı çalıştırmaya başlatmıştır. Daha sonra 2002’de elde ettikleri verilere dayanarak üç küçük alan haritası üretmişlerdir (Manvell vd., 2004). Birleşik Krallık 2000 yılında elde ettikleri trafik verilerine dayanarak Birmingham’ın ilk gürültü haritasını yapmıştır (Hinton vd., 2005). Çevredeki gürültü gün geçtikçe daha da artmaya başladığı için insanlar birçok şehirde gürültü haritası çizmeye başlamıştır (Tsai vd., 2009; Cai vd., 2012). Trafik gürültü haritasını çizmenin iki yolu vardır. Bunlardan ilki ölçüm alanlarından elde edilen verilere göre çizmektir (Manvell vd., 2004). Diğeri ise uygun tahmin modeli yoluyla gürültü haritası çizmektir (Xue vd., 2021).

6.5. Yalıtım Malzemelerinin Kullanılması

Yalıtım malzemeleri de gürültünün azaltılmasında çok etkilidir. Kamuya açık veya kar amacı gütmeyen yapılarda (hastaneler, okullar, mescitler, kütüphaneler vb.) genellikle yalıtım malzemelerinin kullanımı dikkate alınır. Fakat bu yöntem sadece kamu malları için kullanılmaktadır. Özel yapıların kullanılmasında mülk sahipleri sorumludur (Ohiduzzaman vd., 2016). Yalıtım malzemeleri ile uygun bir şekilde gürültü azaltılması yalnızca kapalı

pencereler ile sağlanmaktadır, bu nedenle yalıtım malzemeleri ile birlikte havalandırma da yapılmaktadır. Dolayısıyla da projenin toplam maliyeti çok artmaktadır. Bu yöntem çok fazla maliyete sebep olduğu için kullanımı çok yaygın değildir (Ohiduzzaman vd., 2016).

6.6. Kaplamaların Yüzey veya Karışım Özelliklerini Değiştirme

Kaplamaların özelliği de gürültü oluşmasında büyük önem taşır. Kaplamanın sert olması ses basıncının aşağı yukarı 2 katına çıkmasına neden olmaktadır. Ancak kaplamanın yumuşak ve gözenekli olması gürültünün sert kaplamadan daha düşük frekansta oluşmasını sağlamaktadır (Renterghem, 2015). Kaplamanın gözenekli olması ortaya çıkan gürültünün emilmesini sağlamaktadır.

Avrupa’da yapılan araştırmalara göre, kaplamaların yüzeylerinin veya karışım özelliklerinin değiştirilmesinin yollardaki gürültüyü azaltmada etkili olduğu görülmüştür (Sandberg ve Ejsmont, 2002). Bu sebeple özellikle Avrupa ‘da çok sayıda kaplama yüzeyi, modifiye karışım veya yüzey özellikleri kullanılarak inşa edilmiştir. Bu yüzeyler, genellikle lastik-kaplama birleşimi sonucu meydana gelen gürültüyü azaltmak için üç ana teknik kullanılarak yapılmıştır (Ohiduzzaman vd., 2016). İlk önce, kaplamanın yüzeyi daha pürüzsüz hale getirilir. İkinci olarak kaplama daha yüksek hava boşluklarına sahip olacak şekilde inşa edilir. Bu sayede de kaplama içindeki hava rahatlıkla hareket edebilecek ve daha az gürültüye sebep olacaktır. Üçüncüsü, lastik- kaplama gürültüsünü azaltmak için daha yumuşak bir kaplama yüzeyi yapılır. Bunların yanında pürüzsüz yüzey yüksek gözenekli yüzey sağlamayacağı için ilk iki yöntemin uyumsuz olduğu vurgulanmıştır (Sandberg ve Mioduszewski, 2015). Araştırmacılar çelişen bu iki yöntemi, kaplama yüzeyinin üst kısmının daha düzgün hale getirilmesi, yüzeyin yeterli hava boşluklarına sahip olması ve kaplama katmanlarında hava akışını sağlayacak yeterli gözeneklerin olması gürültü seviyesinde azalma olabileceğini öne sürmüşlerdir (Sandberg ve Mioduszewski, 2015).

Araştırmalara göre kaplamalarda kullanılan malzemelerin gürültü oluşumuna etkisi büyüktür. Gözenekli (poroz) asfalt kaplamalar akustik açıdan oldukça önemlidir. Bunlar düşük gürültülü yüzey kaplaması olarak kullanılırlar. Yol yüzeyi kaplaması olarak gözenekli asfalt kullanıldığında yaklaşık olarak gürültü azalımının 5 dB(A) olduğu

görülmüştür (Avşar ve Gönüllü, 2005). Bazı farklı asfalt kaplama türlerinin oluşturduğu gürültü seviyeleri tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. Yol yüzeyi tipine göre tipik lastik/kaplama gürültü seviyesi aralıkları (Avşar ve Gönüllü, 2005).

Yol yüzeyi türü	Gürültü seviyesi (dBA)
Geleneksel bitümlü karışım kaplaması	73-78
Soğuk bitümlü karışımlar	75-79
Yüksek performanslı mikro kaplama	72-77
Gözenekli(poroz) asfalt	69-77
Çimento beton	76-85
Beton set kaplama	81-84

Araştırmacılar, otoyol gürültüsünün oluşmasında gözenekliliğin önemli rol oynadığını belirtmiştir. Yoğun gradasyonlu asfalt kaplama (DGA) ve gözenekli asfaltlar (OGFC) genellikle gözeneklilikle ayırt edilir. Asfalt kaplamanın gözenekliliği %10'dan az ise bu DGA yüzey olarak adlandırılır. Avrupalı yetkililer gözenekli kaplamaların %20'den fazla hava boşluğu içermelerinin gürültü açısından yararlı olduğunu söylemişlerdir (Donavan, 2005). Bazı araştırmacılar bir OGFC yüzeyinin DGA yüzeyine kıyasla 3-5 dB(A) ölçüde gürültüyü azalttığını belirtmişlerdir. Ancak OGFC yüzeyinin kullanımının sorunlu olduğu kanıtlanmıştır. Çünkü zaman geçtikçe çevreden gelen kir ve toz parçacıkları boşluklara girebilir ve böylece yüzeyin tıkanmasına sebep olabilir. Bu da yüzeyin gürültü etkisini zamanla azaltır (Ohiduzzaman vd., 2016).

Yapılan bir çalışmada, DGA yüzeylere kıyasla gözenekli bir yüzeyin gürültüyü yaklaşık 4 dB(A) azalttığı görülmüştür (Bendtsen, 1998).



Şekil 28. (a) Gözenekli asfalt kaplama- (b) Yoğun gradasyonlu asfalt kaplama (EAPA, 2007).

İnce asfalt tabakası (TAL), agrega boyutunun yaklaşık 12 mm veya daha küçük olduğu bunun yanında tabaka kalınlığının 10 mm ile 30 mm arasında değişen belli bir boşluk derecesine sahip bir kaplamadır. Bu kaplama polimer bağlayıcı maddeler de içermektedir. Kaplamadaki hava boşluğu içeriği yaklaşık olarak %15-%25 arasındadır. İlk yapıldıkları zaman gürültü azalımı binek otomobil için 0.9 ile 6.9 dB(A) arasında değişmiştir. Kamyonlar için ise bu oran daha azdır (Ohiduzzaman vd., 2016).

Bu ince tabakaların makro dokuyu arttırdığı ve geleneksel kaplamalara kıyasla daha iyi bir kayma direnci gösterdikleri söylenmiştir (Bendtsen ve Raaberg, 2007). Diğer kaplamalara göre maliyet açısından daha ucuzdur bu nedenle Avrupa’da yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu kaplamanın da diğer kaplamalar gibi ömrü geçtikçe gürültü azaltma performansı düşmektedir (Ohiduzzaman vd., 2016). Gürültü performansındaki düşüşün sebebinin ise yoğun trafik altında agregaların toparlanması olarak öne sürülmüştür (Sandberg vd., 2011; Vuye vd., 2016).

Taş mastik asfalt kaplamalar (TMA), gelen yük altında yüksek oranda dayanıklılık, tekerlek izine karşı yüksek direnç ve konforlu sürüş sağlar. Mastik, iri agregalardan oluşan bitüm, dolgu ve ince agregalar ile doldurulmuş belli bir boşluk oranına sahip bir karışımdır (EAPA, 2007). Nominal agrega boyutuna göre tabaka kalınlıkları genellikle 15 mm- 45mm arasında değişmektedir. Avrupa’da yapılan bir çalışmada maksimum agrega boyutu 11 mm veya daha az olan TMA kaplamaların DGA yüzeylerine kıyasla gürültüyü 2-3 dB(A) azalttığı görülmüştür (EAPA, 1998). Bunun nedeni ise TMA’nın açık bir yüzey dokusuna sahip olmasıdır (Bendtsen ve Andersen, 2005). Ancak zaman geçtikçe TMA yüzeyindeki aşınmadan dolayı gürültü azaltma performansı düşmektedir. Bu kaplama tipi de DGA kaplamasına kıyasla içerdiği yüksek bağlayıcı ve kaliteli agregalardan dolayı daha pahalıdır (Ohiduzzaman vd., 2016).

7. ESNEK KAPLAMALARDA AKUSTİK ÖZELLİKLER

Trafik gürültüsünün azaltılmasındaki en etkili yöntemlerden biri de düşük gürültülü kaplamalar kullanmaktır. Araştırmalara göre agrega boyutunun küçük seçilmesinin, pürüzsüz kaplamaların ses emiliminde etkili olduğu görülmüştür (Şit vd., 2020). Agregada boyutu küçük seçildiğinde tekerlek ve kaplama arasında sıkışan hava miktarı azalır ve basınçta azalma meydana gelir bunun sonucunda da daha az gürültü oluşur (Sousa vd., 2004).

Geçmişte yapılan birçok çalışmada amaç, daha sessiz otomobillerin ve lastiklerin tasarlanması ve optimize edilmesi (Rao, 2003; Winroth vd., 2017), yollarda ses bariyerleri oluşturulmasıdır (Reiter vd., 2017; Bull vd., 2017). Bunlarla beraber lastik-kaplama gürültüsünü azaltmak için birçok alanda düşük gürültülü kaplama geliştirilmiş ve uygulanmıştır (Smit vd., 2016).

Yeni inşa edilen asfalt kaplamalarda genellikle gürültü seviyesi 3-9 dB(A)'dir. Ancak bu özellik zamanla azalmaktadır (Aksnes, 2009). Kaplamanın yaşının artması akustik özelliklerinin değişmesine sebep olmaktadır. Zaman geçtikçe kaplamanın makro doku, mikro doku gibi özellikleri değişmektedir (İmamoğlu, 2012).

Asfalt kaplama türleri geliştirilirken öncelikle bulunulan bölgenin trafik ve iklim koşulları göz önünde bulundurulmalıdır. Yol kaplamalarının birden çok türü vardır. Bunların akustik özellikleri de içerdikleri malzemelere göre değişiklik göstermektedir.

Son yıllarda, karayolundan kaynaklı meydana gelen gürültünün artışından dolayı düşük gürültülü kaplamalar neredeyse tüm ülkelerde bir araştırma noktası haline gelmiştir. Bu nedenle, araştırma literatürünü daha kapsamlı hale getirmek için son beş yılda (2016-2020) ingilizce yazılmış ve dergilerde yayınlanmış makaleler incelenmiştir. Bu araştırma, ingilizce yazılmış makaleleri anahtar kelimelere göre ayrı ayrı aramamız gerektiğinden ScienceDirect ana veritabanı olarak kullanılmıştır. Makaleleri seçmek için kullanılan anahtar kelimeler ise şunlardır; “trafik gürültüsü, karayolu gürültüsü, lastik-kaplama gürültüsü, lastik-kaplama gürültüsü ölçüm yöntemleri ve sessiz asfalt kaplama”.

Tablo 14. Karayolu gürültüsüyle ilgili son beş yılda yayınlanan makale sayıları

Anahtar Kelimeler					
Yıl	Trafik Gürültüsü	Karayolu Gürültüsü	Lastik-Kaplama Gürültüsü	Lastik-Kaplama Gürültüsü Ölçüm Yöntemleri	Sessiz Asfalt Kaplama
2020	6132	8106	222	145	753
2019	5002	7019	154	86	602
2018	4552	6400	150	109	491
2017	4122	5812	131	83	464
2016	3923	5580	155	112	457

Karayolu gürültüsü yukarıda yazılan makale sayılarında da görüldüğü gibi son zamanlarda çok fazla dikkat çekmektedir. Gerek ülkelerin artan nüfusu gerek artan araç sayısı gürültü oluşmasına en büyük etkenler arasında. Bundan dolayı çözüm olarak gürültü seviyesinde azalma olması için sessiz kaplama üretimi görülmüştür. Bu konuda yapılan çalışmalar ve yazılan makaleler de konunun önemini ortaya koymaktadır. Şuanda bizim ülkemizde dâhil olmak üzere çoğu ülkede sessiz asfalt kaplama üretimine daha çok önem verilmektedir. Taş mastik asfalt kaplama, poroz asfalt kaplama gibi sessiz kaplamalar daha çok tercih edilmektedir. Bu kaplamalar ve özellikleri tezde ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

7.1. Poroz Asfalt Kaplamalarda Akustik Özellikler

Poroz asfalt (geçirimli asfalt) kaplamalar son yirmi yıldır düşük gürültülü kaplama olarak tercih edilmektedir (Ding ve Wang, 2017). Kaba agrega oranı yüksek, ince agrega oranı ve filler miktarı düşük olup açık gradasyona sahip malzemelerden oluşan etrafı bitüm tabakası ile kaplanmış bir kaplama türüdür. Kaplamada bulunan yüksek boşluk oranından dolayı yüzeye gelen suyun drenajı kolay bir şekilde sağlanır (Şit vd., 2020). Bunun sonucunda yağmurlu havalarda sıçramayı azaltarak sürüş koşullarını iyileştirir.



Şekil 29. Poroz asfalt kaplama (URL-7,2021).

Poroz asfaltın ilk uygulamaları 1960'lara kadar uzanmaktadır. ABD ise bu kaplamayı ilk olarak 1973'te sessiz bir kaplama olarak tanıtmıştır (Steere, 1973). Başlarda kullanımı sınırlı kalmış ancak 1980'lerin ortalarından itibaren diğer avantajlarının yanında (yorgunluğa ve tekerlek izine karşı direnci) gürültü azaltma özelliğinin de olmasından dolayı yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Almanya ise 1986'da sistematik olarak bu kaplamayı inşa etmeye ve test etmeye başlamıştır (Glaeser, 2007). Günümüzde birçok Avrupa ülkesinde kullanılmaktadır.

Son 15-20 yıl boyunca farklı Avrupa ülkelerinde ana yol ağındaki kayıtlara göre poroz asfaltın geleneksel yoğun asfalt betonuna göre olumlu akustik özellikleri kanıtlanmıştır. Hollanda'daki çalışmalarda bu kaplamaların gürültüyü 4 dB (A) olarak azalttığı görülmüştür (CROW, 1999).

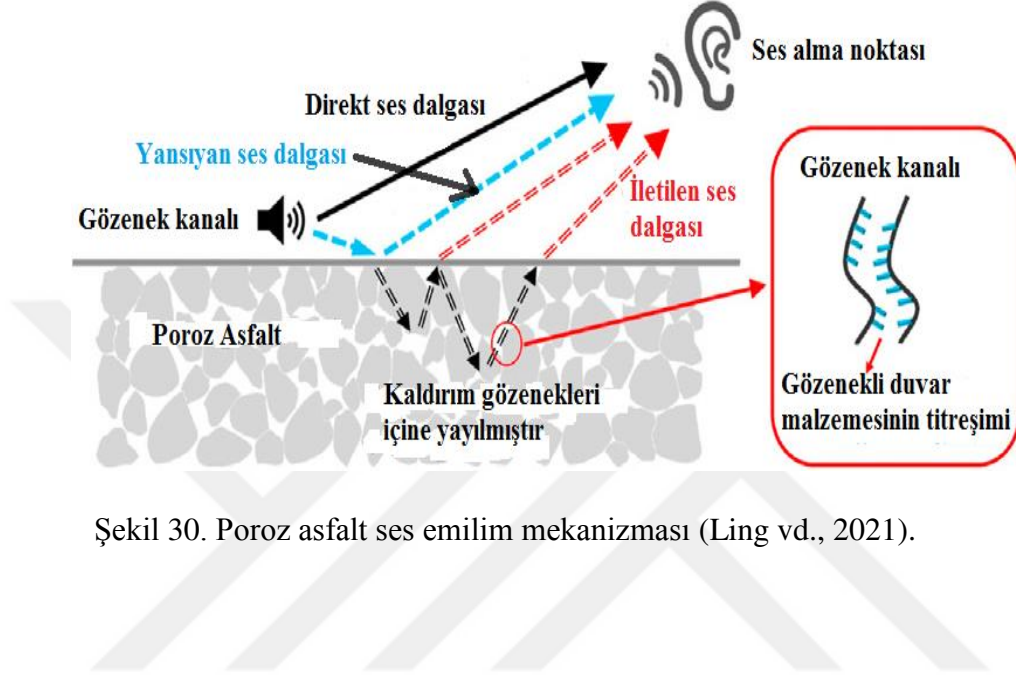
Bu kaplamaların temel özelliği serilip sıkıştırıldıktan sonra yalazık olarak %20 veya daha fazla olan yüksek boşluk içeriğidir (Öztürk, 2008). Almanya'da Marshall numunelerine göre bu boşluk oranı %24 ila %28 arasındadır (FGSV, 2013). Yüksek boşluklu hacimlerden dolayı su ve havanın gözenekli kaplamadan geçişi kolay olmaktadır. Bu kaplamada yüksek boşluk oranından dolayı girişleri bulunan boşluklar vardır ve bu boşluklardan sızan su enine eğimle dışarı aktarılır (Şit vd., 2020). İçerdiği yüksek boşluk oranından dolayı da yolda sürtünmeden kaynaklanan gürültü seviyesinde büyük oranda azalma meydana getirir.

Gürültüyü yaklaşık olarak 3 ila 6 dB (A) arasında azaltır (Özay ve Öztürk, 2013). Poroz asfaltlar iyi drenaj ve aksutik gürültü azaltma özelliklerine sahip olduğu için genellikle çok tercih edilirler. Yol yüzeyine gelen su gözenekli tabakalardan sızabilir bu da gece ışık yansıması olmasını engeller. Yüksek boşluk oranı sayesinde kaplamadaki gözenekler iyi emici özellik gösterir bu da gürültünün azalmasına katkı sağlar (Alber vd., 2018). Bunun yanı sıra lastik-kaplama yüzeyi arasındaki hava pompalama gibi ses üreten etkiler de gözenekli yüzey tarafından azaltılır (Sandberg ve Ejsmont, 2002). Ancak yüksek hava boşluğundan dolayı bazı sorunlar da oluşabiliyor. Bu sorunlar; kaplamada su ve hava sızması nedeniyle nem hasarlarının oluşması, gözeneklerin zamanla tıkanması ve yaşlanmanın oluşmasıdır. Bu da zamanla akustik özelliklerde azalmaya neden olur (Alber vd., 2018). Bu özelliklerden dolayı gözenekli kaplamalar geleneksel asfalt kaplamalara göre daha kısa ömürlüdür.

Islak-tropikal bölgede bulunan ülkelerde çok fazla yağış olduğundan kayma direncini arttırmak, gece ışık yansımasını önleyip daha iyi bir sürüş sağlamak, sıçramayı azaltmak için gözenekli asfalt kaplamalar kullanılmıştır (Tan vd., 2004; Fwa vd., 2000). Birçok gelişmiş ülkede bu kaplama tipi sessiz bir kaplama biçimi olarak geniş uygulama alanı bulmuştur (Chu ve Fwa, 2019). Bu kaplamalar yaklaşık 40-70 mm kalınlığında ve %20-25 gözenekliliğe sahip asfalt aşınma tabakasından oluşmaktadır (Chu ve Fwa, 2019). Her sessiz kaplamanın yol performansı ve gürültü azaltma etkisi birbirinden oldukça farklıdır. Bu nedenle sessiz kaplamalar üretirken iklim koşulları, trafik hacimleri gibi koşullar dikkate alınmalıdır (Ling vd., 2021).

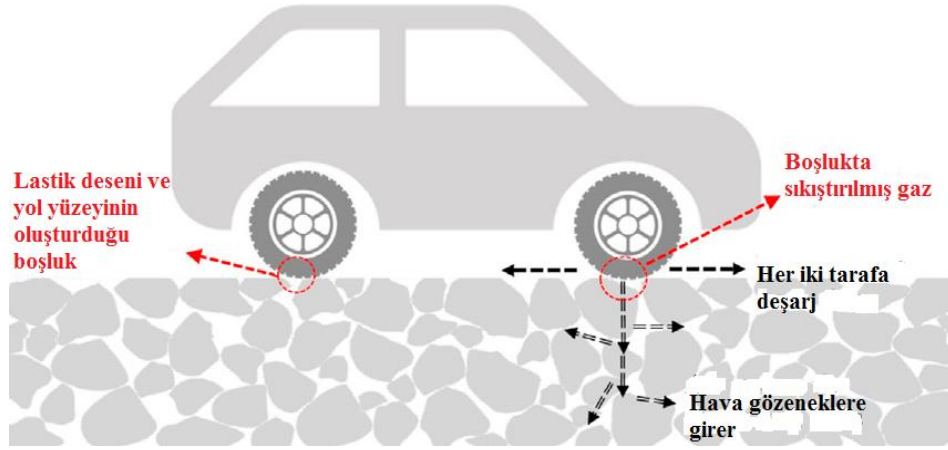
Poroz asfalt kaplama yüzeyi açık gözenekler açısından zengindir ve iç mekanı iyi gelişmiş birbirine bağlı gözeneklere sahiptir. Poroz asfaltta hareket eden bir aracın ürettiği ses dalgaları farklı açılardan kaplama yüzeyine gelişigüzel geldiği esnada ses dalgalarının bir kısmı doğrudan kaplamaya yansıtılırken, bir kısmı ise kaplama yüzeyindeki açık gözeneklerden geçerek aracın iç gözeneklerine girer. Meydana gelen ses dalgaları tekrar eden bir şekilde iç gözeneklerde yayıldığında, gözeneklerde hava titreşimine neden olur (Ling vd., 2021). Hava molekülleri, ses enerjisini yavaş bir şekilde ısıya dönüştüren ve dağıtan yüzey malzemesi etkisiyle sürtünme ve ısı iletiminin oluşmasına neden olur (Ingemansson, 1999). Bu esnada gözeneklerdeki havanın viskoz direnci de ses enerjisinin bir kısmını tüketir (Tao vd., 2017). Bunun sonucunda da insan kulağına yansıyan ses enerjisi

kaplamanın yapısında yayılması sırasında ses enerjisi sürekli olarak dönüştürüldüğü ve yayıldığı için ilk oluşan ses enerjisinden daha az olur (Ling vd., 2021). Poroz kaplamanın ses emme mekanizması şekil 30’da gösterilmiştir.



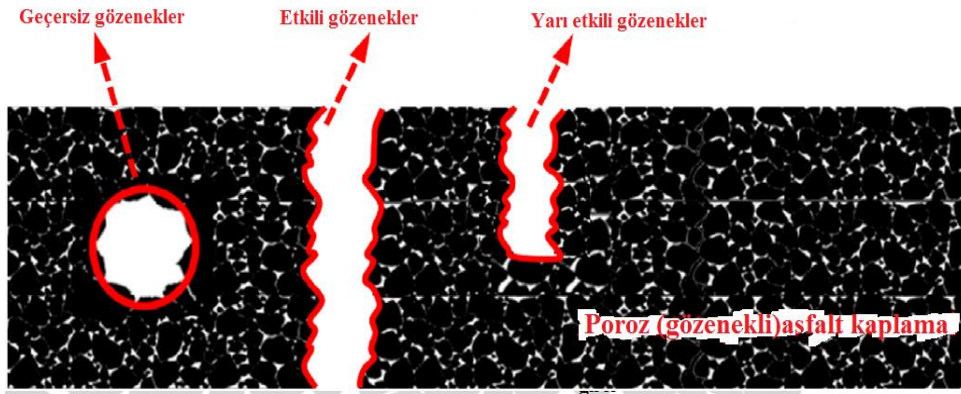
Şekil 30. Poroz asfalt ses emilim mekanizması (Ling vd., 2021).

Poroz asfalt kaplamalar; büyük gözenekli , iyi gelişmiş bir gözenek yapısına sahiptir. Bu nedenle ses emiliminde ve gürültü azaltmada iyi bir rol oynar (Ling vd., 2021). Bu kaplamadaki büyük boşluklar, gelişmiş iç gözenekler ve yüksek bağlanabilirlik özelliklerinden dolayı boşluğun içine sıkışmış hava hemen atmosfere salınmaz, bir süre sonra boşluktaki hava basıncını azaltır ve “hava pompalama” gözenek yapısını olayını hafifletir. Bu da sürüş sırasında hava pompalama gürültüsünü azaltır (Ling vd., 2021). Anlatılan bu mekanizma şekil 31’de gösterilmiştir.



Şekil 31. Bağlantılı gözenek atılımı (Ling vd., 2021).

Poroz asfalt kaplamalarda üç çeşit gözenek türü bulunmaktadır. Bu gözenek yapıları gürültüyü azaltma performanslarına göre; etkili gözenekler, yarı etkili gözenekler ve geçersiz gözenekler olarak sınıflandırılır. Burada, geçersiz gözenekler sadece karışımın içinde mevcut olup dış atmosferle bağlantılı olmayan gözeneklerdir. Yarı etkili gözenekler, bir ucu kapalı olan diğer ucu ise atmosferle bağlantılı olan gözeneklerdir. Etkili gözenekler ise dış atmosferle tamamen bağlantılı olan gözeneklerdir. Bu gözenek sınıfları Şekil 32’de gösterildiği gibidir (Ling vd., 2021).



Şekil 32. Üç tip gözenek yapısı (Ling vd., 2021).

Araştırmacılar poroz asfalt kaplamaların gürültü azaltma özelliğine göre bazı çalışmalar yapılmışlardır;

Poroz asfalt kaplamanın lastik kaplama gürültüsünü absorbe etmek için viskozite etkisi ve termal etkisinin kullanıldığı sonucu çıkarılmıştır (Allard, 1993). Termal etki gözardı edilerek poroz asfalt kaplamanın gözenek yapısı esasen direnç olarak kabul edilmiştir (Lu vd., 2000). Kaplamanın gözenek yapısının yarıçapı yeterince küçük olmadığı sürece ve ısı iletiminden dolayı enerji tüketimi olmadığı sürece gürültü absorpsiyonu için termal etkinin gözardı edilemeyeceği vurgulanmıştır (Dokumacı, 2014). Son zamanlarda araştırmacılara göre, poroz asfalt kaplama içerdiği bol miktarda gözenek sayesinde lastik-kaplama etkileşimi esnasında gazın gözenek yapısından yayılabileceği nedeniyle gürültüyü önemli etkide azalttığı görülmüştür (Mo vd., 2014). Poroz asfalt kaplamalar zaman geçtikçe gözenekleri tıkanabilir. Bu da kaplamanın performansında azalmaya neden olur. Gözeneklerin tıkanmasının nedenleri arasında; toz, döküntü, kir, araç yükü altında kaplamanın zamanla deforme olması, özellikle yüksek sıcaklıklarda asfalt bağlayıcıların sürünmesi gibi nedenler gözeneklerinin tıkanmasına sebep olabilir (Ling vd., 2021). Genel olarak kaplamanın gözeneklerini tıkayan toz sorunu, vakumla temizleme, basınçlı yıkama, kaplamanın kalınlığının arttırılması gibi önleyici tedbirlerle çözülebilir. Poroz asfalt kaplamaların gürültü azaltma etkisi iyi olsa da kısa hizmet ömrü, boşlukların kapanması, zor bakımı ve gürültüyü azaltma etkisinin hızlı bir şekilde zayıflaması gibi nedenlerden dolayı hafif hizmet otoyollar için uygundur (Ling vd., 2021).

%15-%20 oranında hava boşluğuna sahip gözenekli kaplamalarda ses emilimi %10-%20 arasındadır. Ancak zamanla kullanılan kaplamalarda boşlukların tıkanması sonucu gürültü seviyesinde belli miktarda artışa sebep olabilir. Bu nedenle yapım aşamasında daha dayanıklı kaplamalar yapılmalıdır. (Sandberg ve Ejsmont, 2002).

Genel olarak gözenekli asfalt kaplamaların (poroz asfalt) diğer kaplamalara kıyasla daha düşük gürültü seviyesine sahip olduğu görülmüştür. Yapılan deneylere göre gözenekli asfalt kaplamaların lastik-kapalama teması anında gürültüye daha az sebep olduğu gösterilmiştir (Iwai vd., 1994).

Poroz asfalt kaplama, taş mastik asfalt kaplama ve yoğun gradasyonlu asfalt kaplamaya kıyasla gürültü seviyesinde 1.5 ila 4 dB (A) azalma gösterir (Yu vd., 2014). Ancak poroz asfalt kaplamaların ana dezavantajı, gözeneklerinin zamanla tıkanması ve kısa

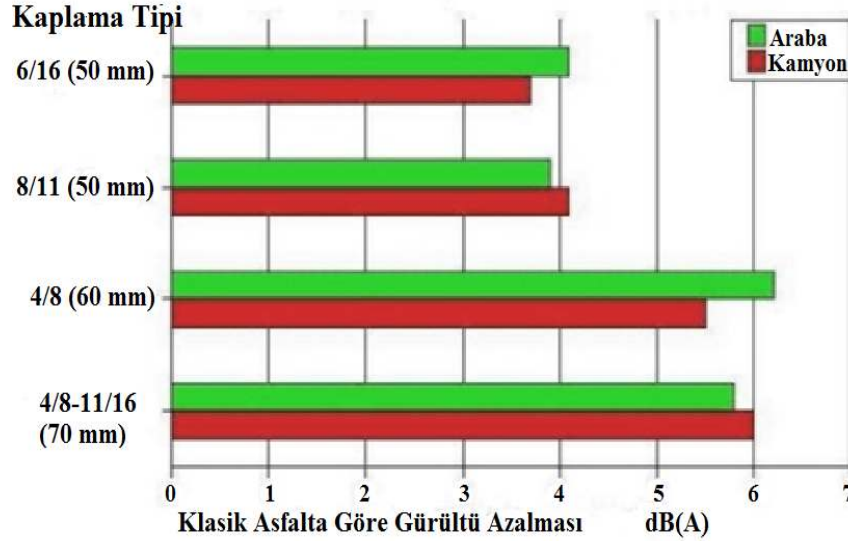
ömürlü olmasıdır. Normal olarak kullanılan yüzeylere kıyasla poroz asfalt kaplamaların gürültü azaltma kapasitelerinin tahmini olarak, pahalı ve özel temizleme yöntemleri gerektiren 6 yıllık kullanımdan sonra 5 dB (A)'den 1 dB (A)'e düşebileceği belirtilmiştir (Takahashi, 2013). Bu kaplamanın ömrünü uzatmak için ise kaplamanın alt katmanı maksimum boyut kullanılarak inşa edilirken üst katmanında ise daha küçük bir maksimum agrega boyutuyla inşa edilebileceği çift katmanlı gözenekli asfalt kaplama yapmaktadır (Vaitkus vd., 2017).

Yapılan bir çalışmada araç türlerine göre gürültü analizi yapılmıştır. Poroz asfalt kaplamanın trafik gürültüsünü büyük araçlar için 4-7 dB (A) sıradan araçlar için 6-10 dB (A) kadar azaldığı bildirilmiştir (Cho ve Son, 2011).

Yapılan bir çalışmada yüksek hava boşluğuna sahip gözenekli elastik yol yüzeylerinde gürültü azalımının yaklaşık olarak 10 dB(A) olduğu görülmüştür (Zetterling ve Nilsson, 1990). Bu kaplamalar yapılarında az miktarda agregalar ve büyük hava boşlukları olmasından dolayı yağışlı zamanlarda drenaj sağlamak, sıçramayı azaltmanın yanında akustik faydalar da göstermiştir (Mavridou ve Kehagia, 2017).

Yüksek boşluklu kaplamalarda gürültü azalımı hakkında yapılan bir başka çalışmada ise agrega çapının boyutuna göre meydana gelen gürültü seviyesinde de değişiklikler olduğu görülmüştür. Agreganın boyutu büyüdükçe gürültü seviyesinde de artış olduğu görülmüştür. Ancak maksimum agrega boyutu 13mm'den 10mm'ye düşürüldüğünde gürültü seviyesinde de azalma olduğu görülmüştür (Meiarashi vd., 1996).

Şekil 33'te agrega boyutları farklı dört farklı tip poroz asfalt kaplamada araba ve kamyon hareketleri sırasında meydana gelen gürültünün yoğun asfalt kaplamalarla karşılaştırılması verilmiştir. Düşey kısım farklı tipteki poroz kaplama tabakalarının tane çaplarını ifade eder. Yatay kısım ise gürültünün azalma miktarını dB (A) cinsinden ifade eder.



Şekil 33. Dört farklı asfalt kaplama için gürültü azalımı (Civelek, 2011).

Gürültü en çok 50 mm’lik yüzeyde görülmüştür. Arabaların en az oluşturduğu gürültü 60 mm’lik yüzeyde iken kamyonların 70 mm’lik yüzeydedir. Bunun sonucunda tane çapı büyüdükçe boşluk oranı artar ve böylece gürültünün de azaldığı söylenebilir. Agregaların tane çapı arabanın sürüş konforunu etkileyen bir etken halindedir. 70 mm’lik yüzeyin tane çapı 60 mm’liğe göre daha fazla olmasına rağmen arabada gürültü azalması fazla olmamıştır. Araba kamyonu göre daha hafif olduğu için fazla titreşim ve sarsıntı meydana gelir. Bu nedenle daha az bir gürültü azalması meydana gelmiştir (Civelek, 2011).

Tablo 15. Boşluklu kaplamalarda gürültü absorpsiyonunun karşılaştırılması (Civelek, 2011).

Kaplama Tipi	Agrega Derecesi	Kalınlık (mm)	Maksimum Absorpsiyon Frekansı (Hz)	Maksimum Absorpsiyon (%)
Klasik Asfalt	0-16	-	-	-
Boşluklu	6-16	55	840	89
Boşluklu	4-8	60	810	95
Çift sıra boşluklu	4-8 (üst)	25(üst), 40(alt)	600	92
Boşluklu	8-11	50	900	87

Yukarıdaki gürültü emisyonları İstatiksel Geçiş Metoduna (ISO 11819-1) göre ölçülmüştür. Poroz asfalt kaplamaların gürültü emisyonları üzerinde büyük bir etkisi olduğu

görülmüştür. 4-8 mm'lik agregadan oluşan 60 mm kalınlığındaki poroz tabakada etkili bir sonuç elde edilmiştir. Gürültü, üst kısmı ince olan (25 mm) agregadan, alt kısmı ise daha kalın (40 mm) olan agregadan yapılmış kaplamada düşük hızlarda iyi sonuç alınırken, yüksek hızlarda iyi bir sonuç gözlemlemek mümkün olmamıştır (Öztürk, 2008).

Avrupa'da, çift katmanlı (25 mm 0/10, 40 mm 0/18 üzerinde) poroz asfalt kaplamanın, tek katmanlı (40 mm 0/18) poroz asfalt kaplamadan 0.39 ses emme katsayısı ile 3.3 dB (A) daha sessiz olduğu gösterilmiştir. 4 yaşındaki bir poroz asfalt kaplamanın yeni yapılmış bir poroz asfalt kaplamadan 1.7 dB (A) daha yüksek olduğu gösterildi. Bu da zaman geçtikçe kaplamanın gürültü emme özelliğini yavaşça kaybettiğini göstermektedir (Lancieri vd., 2000).

Poroz asfalt kaplamalardaki boşluklar trafik kazalarını ve sürtünme gürültüsünü azaltabilir (Yoo vd., 2020). Kaplama tek veya çift katmanlı olarak yapılabilir. Yapılan bir çalışmada tek katmanlı poroz asfalt (SLPP) ve çift katmanlı poroz asfaltların (DLPP) gürültü azaltımı analiz edilmiştir. Çalışma Güney Kore'nin Sejong şehrinin bir bölümünde yapılmıştır. Sejong şehrinde gün geçtikçe artan nüfustan dolayı trafik gürültüsünün artması gürültü kirliliğine sebebiyet vermiştir. Burada gürültüye karşı önlemler sadece ses geçirmez duvarlar ve tünellerdi. Ancak bunlar da bir süre sonra başka sorunlara sebep olmuştur. Bundan dolayı başka bir çözüm olarak daha düşük gürültülü kaplamalar önerilmiştir (Yoo vd., 2020). Düşük gürültülü kaplamaları ses geçirmez duvarlardan ayıran temel faktör gürültü kaynağına inilip azaltılmasıdır (Han ve Lee, 2019). Düşük gürültülü kaplamalar çeşitli tiplere sahiptir (tek katmanlı, çift katmanlı). Tek katmanlı kaplamalar %20 veya daha yüksek gözeneklilik ile tasarlanmış bir kaplama tipidir (Yoo vd., 2020). Bu kaplama tipi genel bir kaplama ile karşılaştırıldığında 3 dB (A) gürültü azaltma performansı göstermiştir (Han ve Lee, 2019). Çift katmanlı kaplamalar ise farklı agrega boyutlarına sahip iki katmanlı bir kaplama anlamına gelmektedir. Bu kaplamanın gürültü azaltma etkisi de genel bir kaplama ile karşılaştırıldığında 7-11 dB (A) seviyesinde mükemmel bir gürültü azaltma performansı göstermiştir. Ancak maliyet olarak tek katmanlı kaplamadan daha pahalıdır (Yoo vd., 2020). Bu çalışmadaki tek katmanlı asfalt kaplama 5 cm kalınlığında gözenekli asfalt karışımı ve maksimum 13 mm agrega çapı olan %20 boşluk oranına sahip bir kaplamadır. Çift katmanlı kaplama ise 5 cm gözenekli yüzey tabakasının 2 cm üst tabakalara, 3 cm alt tabakalara bölünmesi ile oluşturulmuştur. Üst katmanın maksimum agrega çapı 8 mm ve alt katmanın ise 13 mm'dir. Boşluk oranı ise %20'dir. Bu kaplamaların ölçümü yol

kenarından SPB yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmadaki iki kaplama türü de aynı koşullarda ölçümleri yapılarak gürültü oluşturma özellikleri karşılaştırılmıştır (Yoo vd., 2020). Bu koşullar;

- Ortam gürültüsü, yol geometrisi
- Gürültü kaynağı ile gürültü toplama arasındaki mesafe
- Sıcaklık, rüzgar hızı, nem
- Trafik hacmi ve hızı



Şekil 34. Yol kenarındaki gürültü seviyesinin ölçülmesi (Yoo vd., 2020).

Ölçüm yapılırken her 30 dakikada bir gürültü seviyesinin ortalaması alınmış, çift ve tek katmanlı kaplamaların gürültü seviyeleri değerlendirilmiştir. Tablo 16’da bazı ölçümlerin sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 16. Sejong şehrinde ölçülen veriler (Yoo vd., 2020).

No	Gürültü seviyesi dB(A)		Trafik Hacmi (Araçlar)	Büyük Araba Oranı (%)	Hız (km /h)
	Çift Katman	Tek Katman			
1	69.2	76.5	556	11	-
2	69.8	76.8	607	12	-
3	68.4	76.8	589	9	-
4	68.3	76.9	629	6	-
5	68.1	77.0	584	4	-
6	68.3	77.3	782	2	-
7	65.5	73.2	156	11	67.0
8	71.3	77.7	656	17	72.1
9	70.00	78.00	965	9	73.5
10	65.2	73.4	235	17	70.3

Çift ve tek katmanlı kaplamalara göre SPB yöntemiyle yapılan ölçümler tablo 16’da verilmektedir. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre gürültü seviyelerinin tek katmanlı poroz asfaltta 73.2-78 dB (A) aralığında, çift katmanlı poroz asfaltta ise 65.2-71.3 dB (A) aralığında olduğu saptanmıştır. İki katmanın gürültü seviyelerindeki ortalama fark ise yaklaşık olarak 7.85 dB (A) olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda çift katmanlı kaplamanın tek katlı kaplamadan ortalama olarak 7.95 dB (A) daha düşük gürültü ürettiği ve %95 oranında güvenilirlik sağladığı görülmüştür. Tablo 19’deki sonuçlara göre trafik hacmi arttıkça her iki katmandaki gürültü seviyesinde artış olduğu görülmüştür. Ancak yapılan çalışmalar ve sonuçlar, karayolu trafik gürültüsünü azaltmak için trafik hacmini azaltmak yerine yol kaplamasını değiştirmek olduğunu göstermiştir. Bunların yanında araçların hızını azaltmak ve ağır araçlar için trafiği kısıtlamak gibi öneriler de sunulmuştur (Yoo vd., 2020).

Avrupa’da poroz asfalt (gözenekli) kaplamaların tıkanma sorununu gidermek için iki katmanlı gözenekli kaplama tekniği geliştirilmiştir. Bu kaplamada üst tabaka daha ince karışımlarla, alt tabaka ise gürültü absorpsiyonu için daha kalın ve oldukça gözenekli bir karışımla doldurulmuştur. Bununla ilgili yapılan bir çalışmada yeni inşa edilmiş çift katmanlı bir kaplamanın yüksek hızda gürültü azalımının yoğun gardasyonlu asfalt kaplama veya taş mastik asfalt kaplama yüzeylerine kıyasla 6-7 dB(A)’ya kadar olduğu görülmüştür. Bu kaplamanın gürültüyü azaltması iki mekanizmadan kaynaklanmaktadır. Bunlardan ilki,

üst tabakadaki küçük agregalar pürüzsüz bir yüzey oluşturup lastiklerin doku etkisini azaltır. Diğerleri ise alt tabakanın daha kalın ve yüksek boşluk içeriğine sahip olması, bunun yanında ses emilimini arttıran iri agregalardan oluşmasıdır. Gelen hava bu boşluklardan daha rahat hareket ettiği için gürültü seviyesini azaltır. Ancak çift katmanlı kaplama tek katlı kaplamadan veya DGA'ya göre daha pahalıdır ve genellikle üst tabakadaki agregaların zamanla gevşeme problemlerden dolayı uzun ömürlü değildir (Ohiduzzaman, 2016).

Adana ilinde yapılan bir çalışmada karayolu kaplamalarından kaynaklanan gürültünün etkisi incelenmiştir. Çalışmada poroz asfalt kaplama, düz asfalt kaplama ve parke taşı kaplama ele alınarak gürültü analizi yapılmıştır. Çalışma sonucuna göre maruz kalınan alan içerisinde tüm zaman dilimlerinde 55 dB(A)'nin altında olan gürültü seviyelerinde poroz asfalt kaplamanın en düşük gürültü yüzeyine sahip olduğu görülmüştür (Bozkurt ve Selek, 2019).

Yapılan başka bir çalışmada ise poroz asfalt kaplamalarda yol-kaplama etkileşimi sırasında gürültü azalımının yaklaşık olarak 3.4 ve 4.1 dB(A)'lik olduğu görülmüştür (Bozkurt ve Selek, 2019).

7.2. Taş Mastik Asfalt Kaplamalarda Akustik Özellikler

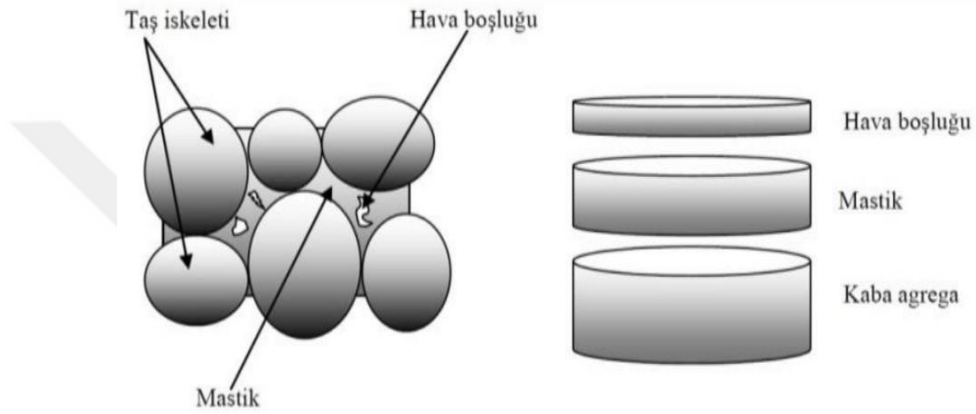
Bir bitümlü sıcak karışım türü olan taş mastik asfalt (TMA), Almanya'da geliştirilmiş bir asfalt kaplama türüdür. Bu kaplamanın ilk kullanım amacı, kış aylarında hava koşullarının ağır geçtiği bölgelerde sürüş güvenliğini artırmak için kullanılan çivili lastiklerin kaplamada meydana getirdiği aşınmayı önlemek olmuştur.

Taş mastik asfalt kaplama, Amerika Devlet Karayolu ve Ulaştırma İdareleri Birliği (AASHTO) ekibi tarafından Avrupa asfalt inceleme turu sonrasında 1990'larda ABD'de tanıtılmıştır (Prowell, 2005).

TMA kaplamadaki kaba agrega oranı (%70-80) ince agrega oranından (%20-30) ve bitüm oranından (%6-7) daha fazladır. Bu sebeple kaplamada yüksek oranda boşluk meydana gelir ve bu boşluklarda mastik karışımlarla doldurulur. Mastik karışımın içeriğinde ince agrega, mineral filler, bitüm ve süzülmeyi önleyici katkı maddeleri bulunmaktadır (Şit vd., 2020). Kaplama içerdiği zengin agrega karışımından dolayı

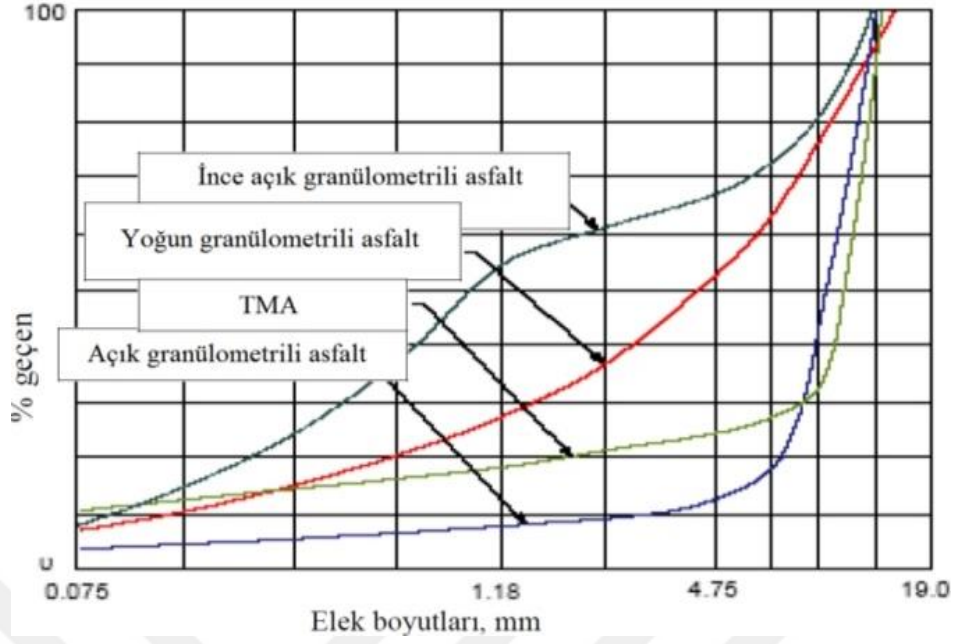
birbiriyle yakın temas sağlar ve yerleştirme, sıkıştırma sırasında ayrışmayı önler. Bu da kaplamanın daha dayanıklı olmasını sağlar (Bastow vd., 2008).

TMA, içeriğinde fazla miktarda bulunan kaba agregadan dolayı daha yüksek tekerlek izi direnci ve durabilite gösterir. Aynı zamanda içeriğindeki güçlü agrega-agrega kenetlenmesi ve zengin filler-bitüm bağlayıcı karışımı sayesinde yüksek oranda mukavemet göstermektedir (Şit vd., 2020).



Şekil 35. TMA karışımının bileşenleri (Yardım ve Arslan, 2013).

TMA’da ince agrega kullanılmasının nedeni kaba agrega taneleri arasında kalan boşlukları doldurmak ve kaba agregaların birbiriyle etkileşimini sağlamaktır. TMA’da geleneksel asfalt kaplamalara göre daha fazla bitümlü bağlayıcı kullanıldığı için serme, sıkıştırma sırasında süzülmeyi önlemek için stabilizörler(fiber, polimer vb.) kullanılır (Yardım ve Arslan, 2013) .Asfalt karışımların tipik granülometri eğrileri ise Şekil 36’da gösterilmektedir.



Şekil 36. Asfalt karışımlarının tipik granülometre eğrileri (Temren, 2009).

TMA, içeriğindeki yüksek kaba agrega ve hava boşluğu sayesinde iyi bir ses absorpsiyonuna sahiptir. Bunun yanında kaplama yüzeyinin pürüzlü olması da gürültü azalmasında etkilidir. TMA kaplamalar, hacimsel olarak poroz asfalta benzerler. Her iki asfalt türünde de kaba agrega oranı fazladır ancak mastik ile doldurulan boşluk seviyeleri farklıdır.

Kaplamadaki makro dokunun ses emilimine olumlu yönde etkisi bulunmuştur. Yapılan çalışmalara göre 0/10 TMA'nın ses emiliminin %6 ila %10 arasında değiştiği, 0/15 TMA'nın ise %6 ila %12 arasında değiştiği görülmüştür. Bu da kaplamadaki makro dokunun ses emilimi arasındaki etkileşimi bulmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu göstermiştir (Boscaino, 2004).



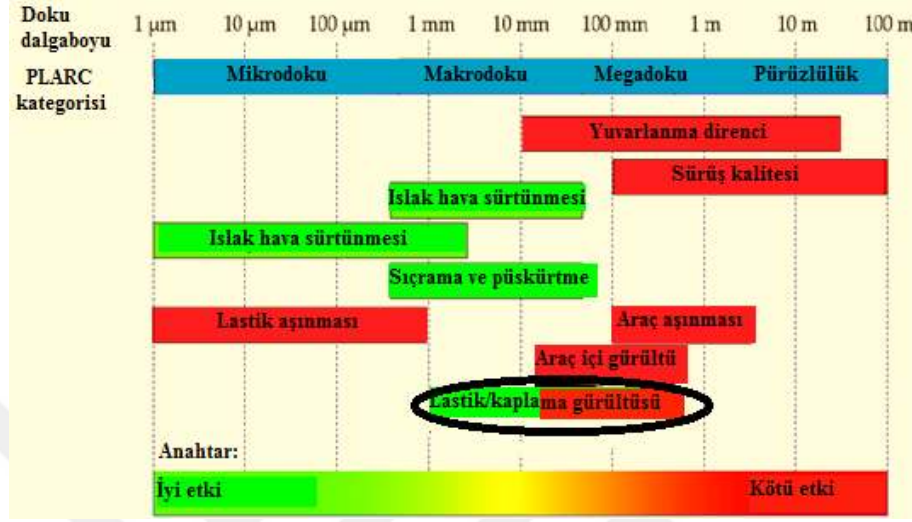
Şekil 37. Taş mastik asfalt (URL-8, 2021).

Avrupa ülkelerinde TMA'nın lastik-kaplama etkileşimi sırasında yüksek oranda ses emilimi göstermesi nedeniyle kullanılan en popüler kaplama türüdür (Şit vd., 2020). TMA kaplamalarının tercih edilmesinin nedenleri çok yönlüdür. TMA kaplamalar yüksek mukavemete sahiptir, lastik-kaplama etkileşimi sırasında meydana gelen kalıcı deformasyonlara karşı yüksek oranda direnç sağlarlar. Diğer asfalt kaplamalara kıyasla daha düşük trafik gürültüsüne sebep olurlar ve daha konforlu bir sürüş sağlarlar. Avrupa ülkelerinde yapılan farklı ölçümlere göre TMA kaplamalarda önemli ölçüde ses emilimi olduğu görülmüştür. Maksimum agrega boyutu 11 mm veya daha az olan TMA kaplamalar, yoğun gradasyonlu asfalt betonuna göre 2-3 dB (A) daha az gürültü üretmiştir (Hanson vd., 2004; Abbott vd., 2011).

Almanya'da yapılan bir çalışmada TMA kaplamalar yoğun gradasyonlu karışım yerine kullanıldığında gürültü seviyesinde yaklaşık olarak 2.5 dB (A) 'lık bir azalma olduğu anlaşılmıştır. İtalya'da yapılan bir çalışmada ise 15 mm kalınlığına sahip TMA ve yoğun gradasyonlu asfalt kaplamaların üzerinde hareket eden 100 km/saat hızına sahip bir aracın TMA üzerinde hareket halindeyken yoğun gradasyonlu asfalt kaplamaya göre 7.0 dB (A) daha az gürültü oluşturmuştur. İngiltere'deki bir çalışmada 6 mm'lik kalınlığa sahip TMA ve yoğun gradasyonlu asfalt kaplamanın karşılaştırılması yapılmış ve TMA'da gürültü seviyesinin 5.2 dB (A)'e kadar düştüğü görülmüştür (Şit vd., 2020).

TMA kaplamalarının doku spektrumu lastik-kaplama etkileşimi sırasında meydana gelen gürültü hakkında bilgi verir. Her dalga boyu gürültüyü farklı şekilde iletir. Şekil 38'de gösterildiği gibi en düşük gürültüyü 1 ila 10 mm arasındaki doku dalga boyu üretmektedir

(Vazquez vd., 2019). Doku dalga boyu 10mm'yi aştığında gürültü seviyesi giderek artmaktadır. 1 mm altına düşmesi de olumlu bir etki oluşturmamıştır.

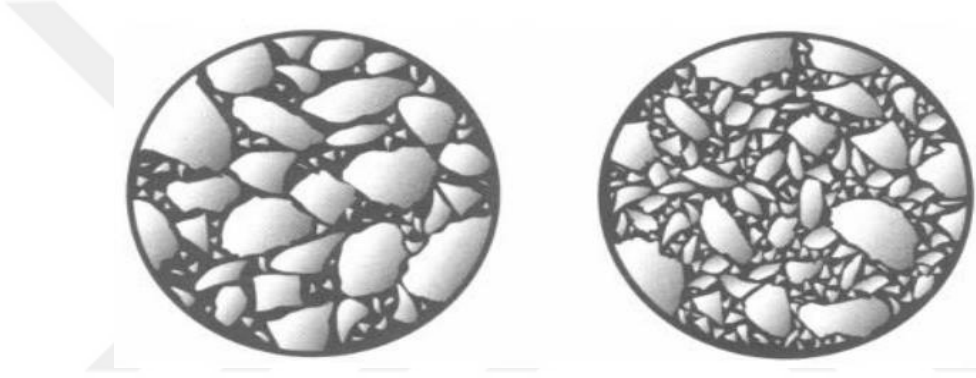


Şekil 38. Her bir kategori için doku dalga boyu aralığı ve etkileri (Vazquez vd., 2019).

TMA, asfalt beton kaplama ile karşılaştırıldığında, daha fazla kaba agrega içeriği, daha fazla asfalt bağlayıcı ve daha az ince agrega içeriği gibi özelliklere sahiptir. Lastik titreşimi sönümlemede asfalt betonuna göre daha çok avantajı vardır. Bu da daha düşük titreşim gürültüsüne neden olur. Bunların yanında TMA pompalama gürültüsünü etkili bir şekilde azaltabilen zengin bir yüzey dokusuna sahiptir. TMA kaplama yüzey dokusu sadece gürültü azaltma özelliğiyle kalmaz bunun yanında iyi bir şekilde yüzey drenajı, sıçrama ve püskürtmeyi önleme, lastik-kaplama etkileşiminde sürtünme ve yuvarlanma direnci, sürüş konforu ve araçlarda aşınmaya da etki eder (Ling vd., 2021). Araştırmalara göre; TMA'daki makro doku, ince agrega parçacıkları ve iri agregaların yüzey pürüzlülüğünden oluşur böylece trafik gürültüsünü azaltma etkisi gösterir (Vazquez, 2019). Mikro doku ise pompalama gürültüsünü etkili bir şekilde azaltabilen kaba agrega veya lastik sırtı elemanları tarafından oluşturulur (Amarisi vd., 2012; Fülöp vd., 2000).

7.3. Yoğun Gradasyonlu Asfalt Kaplamalarda Akustik Özellikler

Yoğun gradasyonlu asfalt kaplamalar düşük boşluk oranına ve bitüm içeriğine sahip, yaygın olarak kullanılan sıcak karışım asfalt tipidir (Şit vd., 2020). Kaba agrega oranı taş mastik asfalt ve poroz asfalta göre daha azdır. Kaba agrega, ince agrega ve filler karışımlarının sıcaklık ve nem bakımından kontrol altında tutulmasıyla oluşturulan bir kaplama türüdür (Uluçaylı, 2002). Kaplamada bulunan karışımların kullanımı kaplamada yapısal sertliğe, deformasyona karşı dirence, yorulma direncine, işlenebilirliğe katkıda bulunur (Greer, 2016).



Şekil 39. TMA ve yoğun gradasyonlu asfalt briketi (Myers, 2007).

Kaplamadaki aşınma tabakaları gelen yüke daha fazla maruz kalırlar. Bu sebeple yoğun bir asfalt tabakaya ihtiyaç duyulur. Bunun için de kaplamada çok miktarda boşluk bırakmamak gerekir ve gradasyonu açmak gerekir. Bu işlemi ilave filler katarak yapmak mümkün olur (Umar ve Ağar, 1999). Yoğun gradasyonlu asfalt kaplamalarda gürültü seviyesini azaltmak için ses emme verimliliği yüksek olan katkı maddeleri kullanmak gerekir. Bu da kaplamalarda oluşan gürültünün gözlemciye daha az iletilmesini sağlar (Amares vd., 2017).

Yoğun gradasyonlu asfalt kaplamalar sürekli gradasyonlu agregalar, kumlar, dolgu ve bitümlü bağlayıcıların bir karışımı olduğu için serilen malzemenin sağlamlığına ve performansına büyük katkı sağlar. Bu kaplamanın dayanıklılığı ve çevresel bozulmaya karşı direnci tipik olarak %3-7 oranında hava boşlukları ve bağlayıcı içeriği ile belirlenir.

Kaplamadaki bağlayıcı tipi, agrega özellikleri, dolgu tipi ve katkı maddelerinin kullanımı, yapısal sertliğe, yorulmaya, yüzey dokusuna, deformasyon direncine ve işlenebilirliğe önemli bir katkı sağlar (Greer, 2006).

Yoğun gradasyonlu asfalt kaplamalarda artan hava boşluğu oranları sayesinde gürültü azaltma performansının arttığı görülmüştür. Yapılan ölçümlere göre hız sınırlarının kontrol edilmesi ve kauçuk modifiye asfalt kullanılması gürültü seviyesinde azalmaya neden olmuştur (Şit vd., 2020).

10-30 mm kalınlığındaki ince asfalt betonu katmanlarının yoğun gradasyonlu kaplama ve TMA kaplama ile karşılaştırıldığında başlıca avantajlarının, geliştirilmiş gürültü azaltma, daha yüksek sürtünme katsayısı, daha düşük inşaat maliyetleri ve daha kısa sürede tamamlanmasıdır. Başlıca dezavantajları da düşük sıcaklıklara karşı daha az direnç, daha kısa bir ömür ve hizmette daha fazla gürültü etkinlik düşüşüdür (Gardziejczyk, 2016).

Yapılan bir çalışmada parke taşı kaplama, yoğun gradasyonlu asfalt kaplama ve asfalt kauçuk kaplamanın araç hızları ve trafik yoğunluğu açısından trafik gürültüsü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucuna göre parke taşı kaplama diğer kaplamalara göre en kötü gürültü performansı göstermiştir. En iyi performansı ise yoğun gradasyonlu asfalt kaplamanın gösterdiği görülmüştür (Bozkurt ve Selek, 2019).

Yoğun gradasyonlu asfalt kaplamaların kalınlıklarının da gürültü azaltma üzerinde etkisi olduğu görülmüştür. Düşük hızlı yollar için optimum kaplama kalınlığı yüksek ses sönümlemesi sağlamaktadır. Çalışma sonucu bu kalınlığın 44 mm- 64 mm arasında olduğunu göstermiştir (İmamoğlu, 2012).

Literatür araştırmalarına göre yapılan bir çalışmada esnek asfalt kaplamalar ve rijit asfalt kaplamaların gürültü üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Çalışmada asfalt ve beton yollar ele alınmıştır. Aynı koşullar altında yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında ise beton yolun asfalt yoldan yaklaşık olarak 4 dB(A) daha sessiz olduğu görülmüştür (Yıldırım vd., 2014).

Kauçuk içermeyen çift katmanlı gözenekli bir asfalt kaplama ile kauçuk içeren asfalt kaplama ve bunun yanında öğütülmüş kauçuk tozu ve nominal maksimum agrega boyutu ile geliştirilmiş asfalt mastiğinin gürültü üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. İç mekân test sonuçlarına göre 1000 ve 1200 Hz frekansların sesi dışında çift katmanlı kaplama ve kauçuk kaplamaların ses yutma katsayılarının benzer (0,4-0,5) olduğu görülmüştür. Ancak

dış mekân test sonuçlarına göre kauçuklu asfalt kaplama için gürültü azalımının 2,2-3,2 dB(A) olduğu görülmüştür (Mavridou ve Kehagia, 2017).

Asfalt kaplaması üzerinde yapılan bir başka çalışmada, yüzey çatlamasını kapatma, lastik-kaldırım gürültüsünü azaltma, lastiklerden kırıntı kauçuğu ekleme gibi çeşitli işlevsel hususları içeren bazı teknik çözümleri bir araya getirebilen yeni bir bitümlü harç karışımı uygulaması geliştirilmeye çalışıldı. İncelenen karışımlar bazalt agregalar, portland çimentosu, su ve lateks ile modifiye edilmiş %60 bitüm emülsiyonu ilave edilmiş karışım ağırlığının %1.5'ine eşit bir parça kauçuk fraksiyonu içermiştir. Sonuç olarak 1.6 ile 2.2 dB (A) arasında değişen bir gürültü azalması olduğu görülmüştür (Mavridou ve Kehagia, 2017).

Farklı konfigürasyonlarda yüzey dokuya sahip portland çimento betonunun ve asfalt betonunun ses emme yetenekleri, Waterloo Üniversitesi, Ontario'daki (Kanada) Kaldırım ve Taşıma Teknolojisi Merkezi laboratuvarında bir empedans tüpü kullanılarak ölçülmüştür. Sonuç olarak, normal 12.5 mm superpave, 12.5 mm taş mastik asfalt ve ince dereceli 12.5 mm superpave karışımlarının sırasıyla ses enerjisini %6.3, %7.5, %8.5'ini emdiği görülmüştür (Ahammed ve Tighe, 2011).

8. GENEL DEĞERLENDİRME

Gürültünün her geçen gün artış göstermesi yaşamı daha da zor bir duruma getirmektedir. Gürültünün oluşmasına neden olan birçok kaynak bulunmaktadır. Ancak ulaşımdan kaynaklanan gürültülerin payı en büyüktür. Gerek çevrede oluşturduğu gürültü kirliliği gerekse insan sağlığını olumsuz etkilemesi gerekli önlemlerin alınmasına neden olmaktadır. Bunun için bir çok ülkede çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalar genellikle daha düşük gürültülü kaplama üretimine odaklandırılmaktadırlar.

Bir bölgenin trafik hacimleri, iklim koşulları gibi özellikleri göz önünde bulundurarak, çeşitli çözümler üretilmeye çalışılmıştır. Litvanya’da belirli bölgesel iklim koşulları için etkili bir şekilde düşük gürültülü kaplama çözümü geliştirmek için büyük araştırma çalışmaları başlatılmıştır. Yapılan bir çalışmada, yaygın olarak kullanılan asfalt betonu, taş mastik asfalt ve poroz asfalt kaplamaların gürültü azaltma etkileri üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada, akustik ve mekanik performans, iklime dayanıklılık için laboratuvar testleri yapılmıştır (Vaitkus vd., 2017). Lastik-kaplama etkileşim gürültüsü 40-100 km/s hız aralıklarında genel trafik gürültüsüne önemli ölçüde katkıda bulunur (Sandberg ve Ejsmont, 2002). Test sonuçlarına göre, poroz asfalt kaplamaların yüksek boşluk oranından dolayı zamanla gözeneklerinin tıklandığı ve gürültü azaltma özelliğinin azaldığı görülmüştür. Taş mastik asfalt kaplama ise kullanılan agrega içeriği ve boşluk oranından dolayı gürültüyü azaltma etkisinin poroz asfalta göre daha uzun ömürlü olduğu görülmüştür.

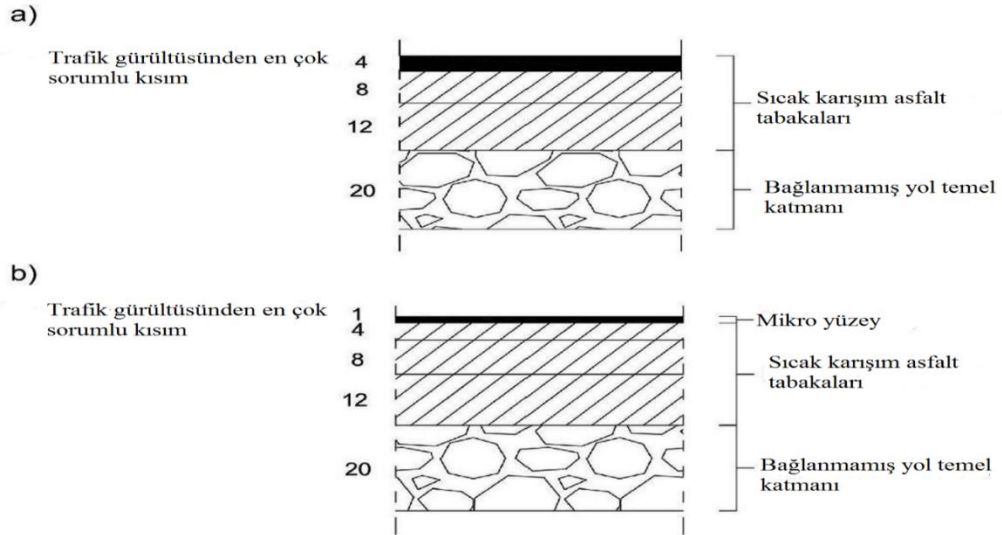
Yapılan başka bir çalışmada taş mastik asfalt kaplama üzerine serilen ince bir emülsiyon mat mikro yüzey kaplamanın çevresel gürültüyü azaltma üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. CPX yöntemi kullanılarak bu çalışma yapılmıştır. Çalışmanın amacı ise yol onarımları sırasında yol bakımı için test edilen mikro yüzeylerin aynı zamanda trafik gürültüsünü azaltabilecek özelliklere sahip olup olmadığını görmektir. Yapılan test şekil 40’da gösterildiği gibi iki test yolu bölümünde gerçekleştirilmiştir. Her iki bölümünde hız sınırı 100 km/s’dir (Nowoswait vd., 2020).



Şekil 40. A ve B kaplamalarının test bölümü (Nowoswait vd., 2020).

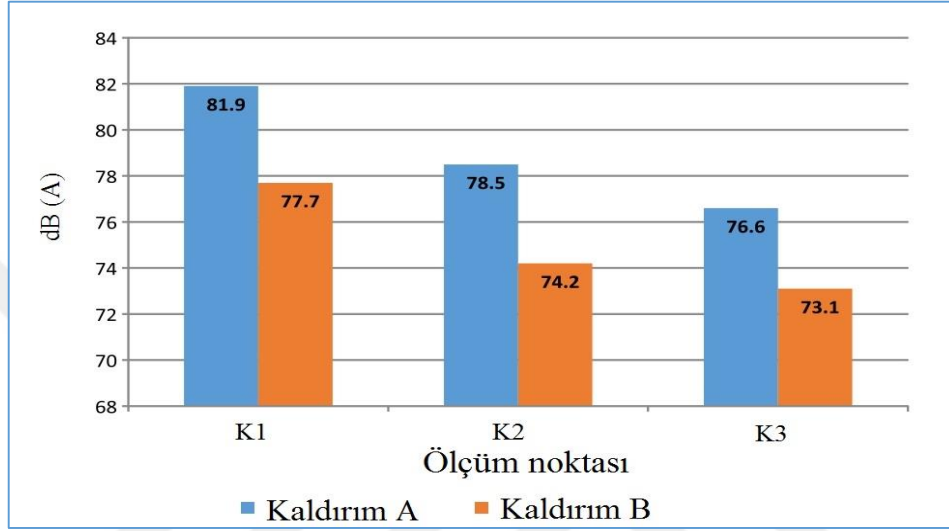
Test edilen bölümlerin kaplama yapısı (Nowoswait vd., 2020);

- A kaplaması, üç katmanlı sıcak karışım asfaltta sahiptir. Kaplama kalınlığı 4 cm, tane boyutu 0/128 mm.
- B kaplaması, TMA karışımından yapılmış mevcut aşınma tabakası üzerinde yaklaşık 1 cm' lik kalınlıkta soğuk olarak yapılmış mikro yüzey kaplama, tane boyutu 0/5 mm olan iki ince emülsiyon matından oluşan bir tabakadır.



Şekil 41. Yolun kesiti a) kaldırım A, b) kaldırım B (Nowoswait vd., 2020).

Yapılan ölçüm sonuçlarına göre özellikle yüksek frekanslar için önemli ölçüde gürültü azalımı mikro yüzey kaplaması uygulandığında görülmüştür. Yol geçidinin hem sağ hem de sol tarafı için mikro yüzey kaplama kullanıldığında gürültü azaltımının yaklaşık olarak 5 dB (A) olduğu görülmüştür (Nowoswait vd., 2020).



Şekil 42. Yol kenarından 1.5 m, 5.25 m ve 10.0 m mesafede örnekleme yapılarak üç ölçüm noktasında ölçülen eşdeğer ses seviyeleri (Nowoswait vd., 2020).

Sonuç olarak B tipi kaplamanın A tipi kaplamaya kıyasla gürültüyü azaltma etkisi daha iyidir denilebilir. B tipi kaplamanın kullanıldığı alanda, gürültü maruziyeti A tipi kaplamaya kıyasla gündüzleri yaklaşık 30 m, geceleri yaklaşık 50 m azalmıştır (Nowoswait vd., 2020).

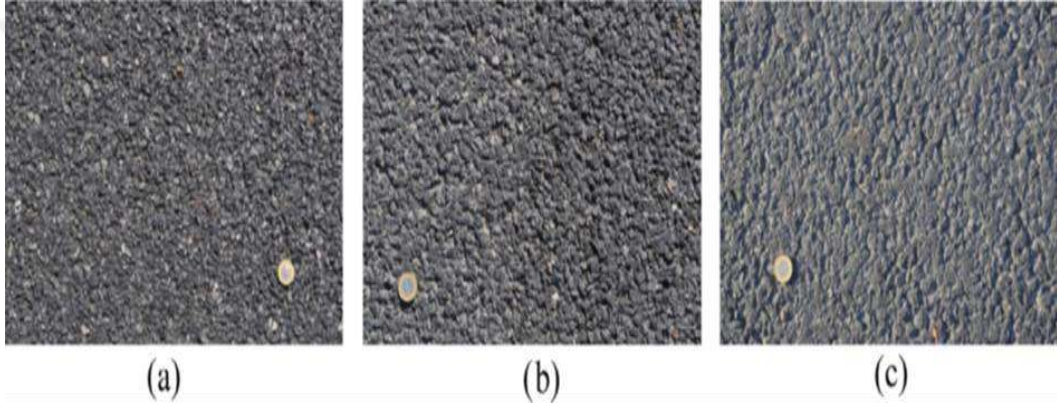
Düşük gürültülü yol yüzeyleri trafik gürültüsüyle mücadele etmek için önemli bir azaltma önlemi olarak kabul edilmektedir. Hong Kong’da yapılan bir çalışmada, dört sıcak karışım asfalt üzerinde çalışmalar yapılmış ve gürültüye etkileri karşılaştırılmıştır. Bu asfalt kaplamalar; taş mastik asfalt, polimer modifiye taş mastik asfalt, açık gradasyonlu asfalt kaplama ve geleneksel yoğun gradasyonlu asfalt olarak seçilmiştir. Test sonuçlarına göre, polimer modifiye taş mastik asfalt kaplamanın taş mastik asfalt kaplamadan daha sessiz olduğu ancak her ikisinin de geleneksel yoğun gradasyonlu asfalttan çok daha iyi kayma direnci sağladığı görülmüştür. Açık gradasyonlu asfalt kaplama ise geleneksel yoğun gradasyonlu asfalttan 3-5 dB (A) daha sessiz bulunmuştur (Shiying vd., 2016). Açık dereceli

asfalt kaplamalar ilk serildiklerinde 4 dB (A)'ya kadar önemli bir gürültü azaltma avantajına sahiplerdir. Ancak zamanla araç lastikleri ve yol yüzeyinin aşınmasıyla oluşan toz ve kir birikimi kaplama boşluklarını kolayca tıkar ve bu da kaplamanın gürültü azaltma özelliğini azaltır (Sandberg, 2008). Düşük gürültülü kaplamanın performansını korumak için de ekstra yol bakımı gerektirir, bu da ek maliyetlere neden olur. Boşluk oranı yüksek olan TMA kaplamaların açık gradasyonlu asfalt kaplamalardan daha iyi bir mekanik performansa sahip olduğu bilinmektedir. Bunun yanı sıra daha küçük nominal agrega boyutlarının kullanılması, düşük gürültülü bir yüzey kaplama potansiyeline işaret etmektedir (Shiying vd., 2016). Yapılan çalışmalara göre 9 mm nominal agrega boyutuna (TMA9) sahip bir TMA kaplama yüzeyinin, 88 km/saat sürüş hızıyla 16 mm nominal agrega boyutuna (TMA16) sahip bir TMA kaplama yüzeyinden 3 dB (A) daha sessiz olduğu görülmüştür (Bernhard vd., 2005). Sandberg ve Ejsmont'a göre düşük gürültülü kaplamalar, yüzeyde en az 3 dB (A) daha düşük araç gürültüsü üretmektedir (Gardziejczyk, 2016).

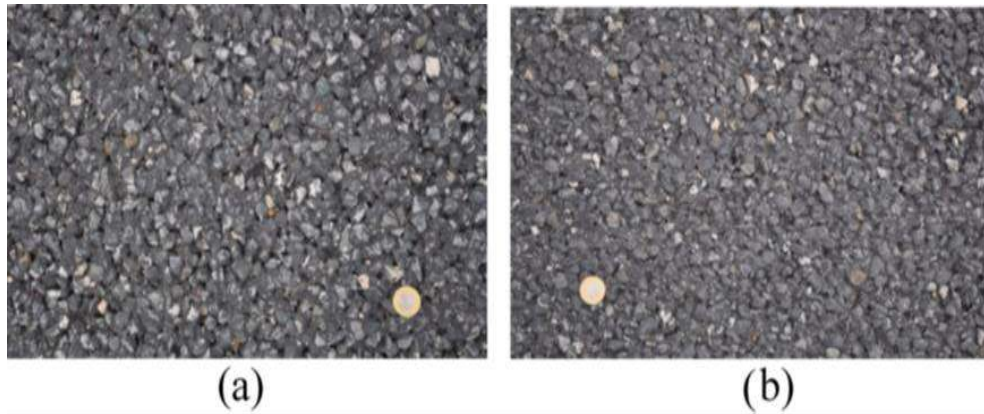
Kaplamaların akustik özelliklerini zaman içinde özelliklerine, yol bölümünün konumuna bağlı olarak değiştiğini göstermek ve kullanım sırasında uygun bakımın ne kadar önemli olduğunu göstermek amacı ile yapılan çalışmada 2011 ve 2014 yıllarında, istatistiksel geçiş yöntemi (SPB) ile poroz asfalt kaplama (PAC), taş mastik asfalt kaplama (TMA) ve çok ince asfalt betonu kaplaması (VTAC) üzerine gürültü seviyesi çalışması yapılmıştır. Bu çalışma iki farklı bölgesel karayolu üzerinde yapılmıştır. İlgili bölümlerdeki kaplama tipleri tablo 17'de, yol yüzeylerinin görüntüleri de Şekil 43-Şekil 44'te sunulmuştur. İlk bölgedeki karayolu üzerinde üç kaplama tipinin, ikinci bölgedeki karayolu üzerinde ise iki kaplama tipinin akustik dayanıklılıkları test edilmiştir. İlk bölgedeki yol bölümlerinin oldukça elverişsiz alanlarda bulunduğu belirtilmiştir. VTAC8 ile yol kaplaması bölümü tarlalara ve çayır alanlarına birçok çıkışı olan tarım alanında yer almaktadır. PAC8'e sahip yol parçası ise sitelere çok sayıda girişi olan bir kasaba içinde yer almaktadır. Bu gibi durumlarda aşınma tabakası kirlenmeye eğilimlidir. 2011 yılında yapılan test bölümlerindeki yüzeylerin iyi durumda olduğu belirtilmiştir. Ancak 2014 yılında PAC8 ve VTAC8'de bazı kayıplar gözlenmiştir 2011 ve 2014 yıllarında yapılan istatistiksel geçiş yöntemi ölçüm analizlerine göre 1.bölgede geçen araçların maksimum ses seviyeleri şekil 45'te gösterilmiştir.

Tablo 17. Çalışmada değerlendirilen test yollarının özellikleri ve kodları (Gardziejczyk, 2016).

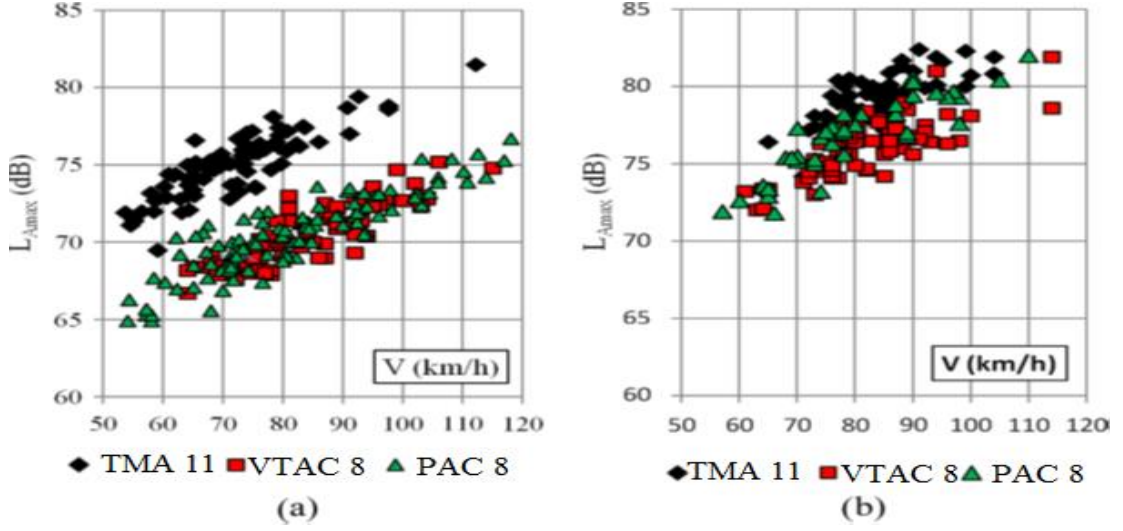
1. bölge	PAC8	Gözenekli asfalt kaplamanın kalınlığı -4 cm, maksimum agrega boyutu 8 mm, boşluk içeriği ise %18-24.
	VTAC8	Katman kalınlığı -3cm, maksimum agrega boyutu 8 mm, boşluk içeriği %12-15.
	TMA11	Katman kalınlığı -4cm, boşluk içeriği %3.
2. bölge	PAC11	Gözenekli asfalt tabakasının kalınlığı 4 cm, boşluk oranı %18-22.
	TMA11	Katman kalınlığı -4 cm, boşluk oranı %3.



Şekil 43. 1. Bölgedeki (2014) yol bölümlerinde test edilmiş yol yüzeyleri: (a) PAC8, (b) VTAC8, (c) TMA11 (Gardziejczyk, 2016).



Şekil 44. 2.B ölgedeki (2014) yol bölümlerinde test edilen yol yüzeyleri: (a) PAC 11, (b) TMA 11 (Gardziejczyk, 2016).



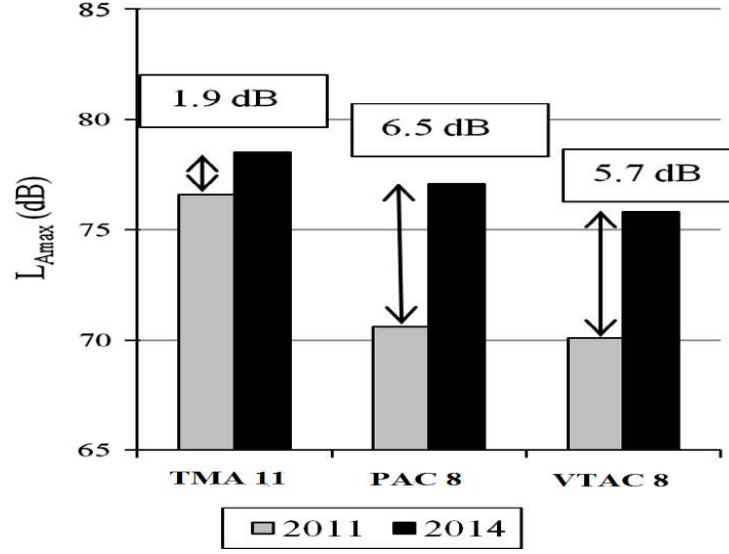
Şekil 45. Binek otomobiller için 1. bölgedeki karayolu üzerindeki SPB ölçümlerinin sonuçları: (a) 2011, (b) 2014 (Gardziejczyk, 2016).

Poroz asfalt kaplama (PAC8), çok ince asfalt betonu (VTAC8) ve taş mastik asfalt (TMA11) yüzeylerden tek binek araçların geçişinden kaynaklanan ses seviyelerinin (LA_{max}) değerini göstermektedir. Tablo 18’de Şekil 45’te verilen istatiksel bilgiler gösterilmiştir.

Tablo 18. Şekil 45'te sunulan verilerle ilgili istatiksel bilgiler (Gardziejczyk, 2016).

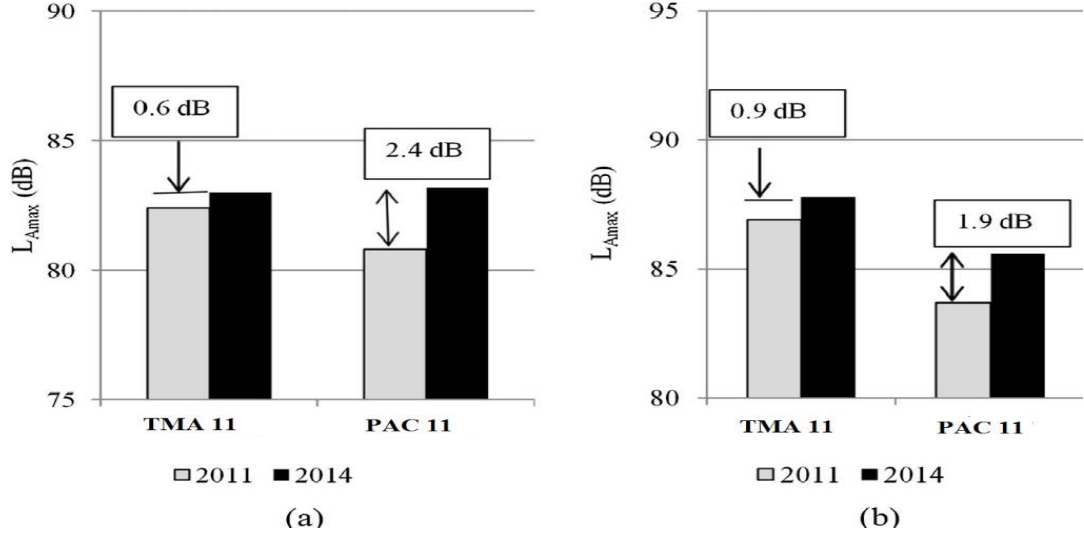
Kaplama Özelliği	Yıl	Ortalama hız (km / s)	$LA_{max}(80)(dB)$
TMA 11	2011	88.0	76.6
	2014	84.4	78.5
VTAC 8	2011	82.8	70.1
	2014	82.4	75.8
PAC 8	2011	83.0	70.6
	2014	81.7	77.1

Şekil 46’da 2011 ve 2014 yıllarında test bölümlerinde 80 km/s hızda istatiksel bir binek otomobilin LA_{max} değerleri arasındaki farklar gösterilmiştir.



Şekil 46. 1. Bölgedeki karayolunda istatistiksel binek otomobili geçerken gürültü seviyesi değerler arasındaki farklar (SPB yöntemi, V:80 km/s) (Gardziejczyk, 2016).

Verilerden elde edilen sonuçlara göre yayılan maksimum ses seviyesi üzerinde, artan boşluk içeriği ile kaplamanın kullanım ömrünün etkisinin ne kadar önemli olduğu doğrulanmaktadır. 2011 ve 2014 yıllarında alınan ölçümler arasındaki maksimum ses seviyesindeki en küçük fark TMA 11 tipi kaplamada görülmüştür. Boşluk oranının diğer kaplamalara göre daha az olması gürültü azaltma etkisinde zamanla daha az azalma olmasına neden olmuştur. Diğer iki kaplamanın yüksek boşluk oranına sahip olması, zamanla boşlukların toz ve kir parçacıklarıyla tıkanmasına ve bu yüzden gürültü azaltma performansında düşüşe neden olmaktadır. LA_{max} gürültü seviyesi 2011 yılında kaydedilen değerlere göre 2014 yılında 6.5 dB (A) (PAC 8) ve 5.7 dB (A) (VTAC 8) artmıştır. Gözenekli kaplamanın akustik özelliklerinin zaman içinde değişmesiyle ilgili bir başka sorun da ikinci bölgedeki karayolunda gözlemlenmiştir. İkinci bölgedeki karayolunda yapılan ölçüm sonuçları ise şekil 47’de özetlenmiştir (Gardziejczyk, 2016).

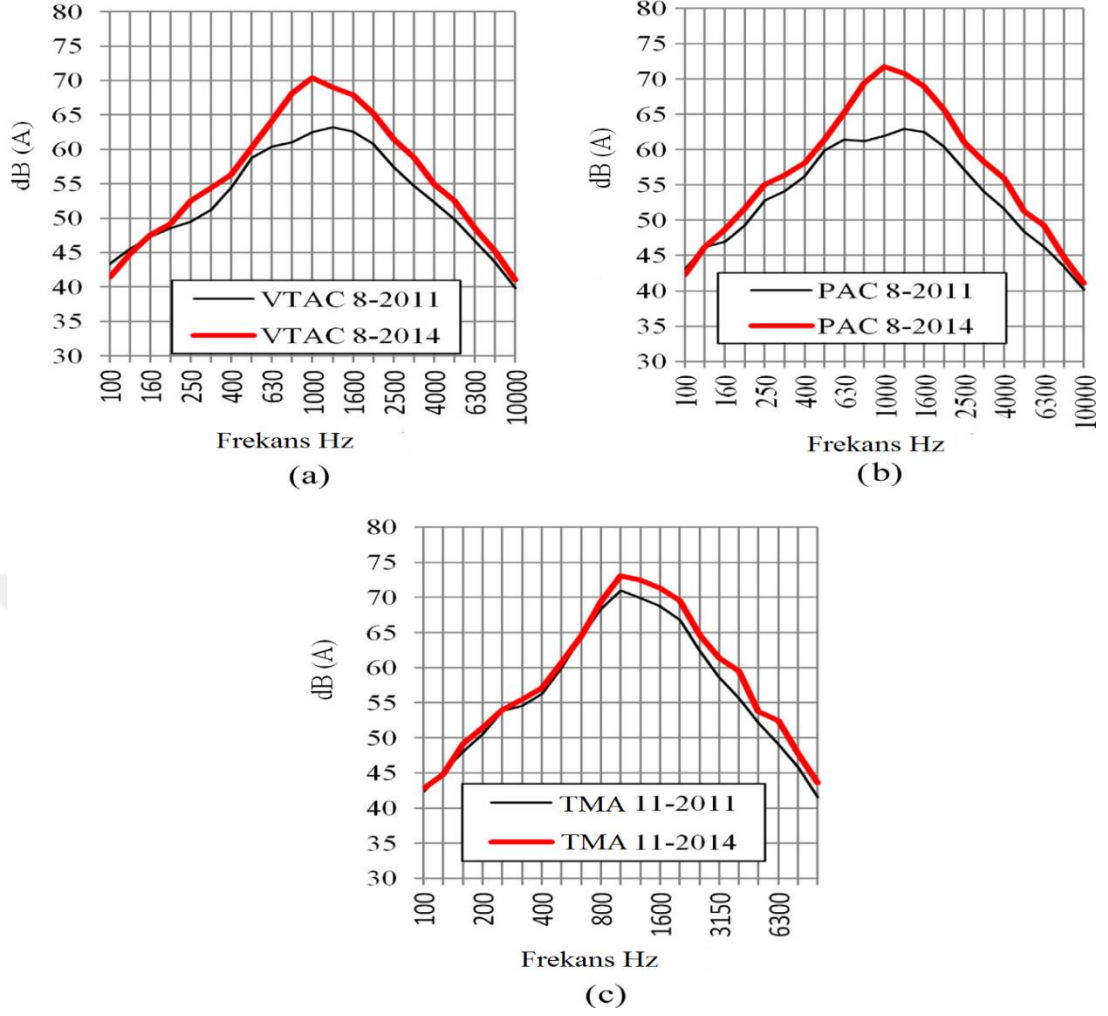


Şekil 47. 2. Bölgedeki karayolu üzerinde istatistiksel araçtan geçerken gürültü seviyesi değerleri arasındaki farklar (SPB yöntemi): (a) binek otomobil, V:110 km/s, (b) çok dingilli ağır araç, V: 85 km/s(Gardziejczyk, 2016).

PAC 11'de LA_{max} , 2011'de kaydedilen değerlere kıyasla istatistiksel binek otomobili için 2.4 dB (A) artmıştır. Kaplamaların kullanım sırasında maksimum gürültü seviyesindeki yıllık artışın belirlenen değerleri (Gardziejczyk, 2016);

- 1.Bölgede (binek otomobili) : TMA 11 (0.63 dB (A)), VTAC 8 (1.90 dB (A)), PAC 8 (2.17 dB (A)).
- 2.Bölgede (binek otomobili): TMA 11(0.20 dB (A)), PAC11 (0.80 dB (A)).
- 2.Bölgede (çok akslı ağır araç): TMA 11(0.30 dB (A)), PAC11 (0.63 dB (A)).

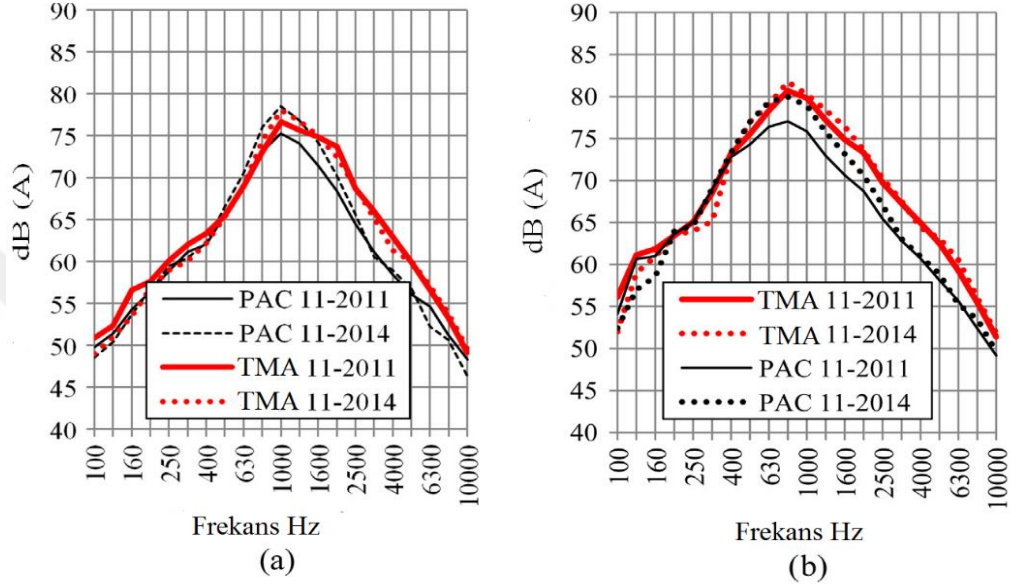
Çalışmaya göre 3 yıl içinde akustik özelliklerinin kaybının ana nedeni boşlukların tıkanmasıydı. Şekil 48'de ise 1.bölgedeki karayolundaki test bölümlerindeki gürültü seviyesinin sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 48. 1/3 oktav bantlarında A ağırlıklı frekans spekturumları: (a) VTAC 8, (b) PAC 8, (c) TMA 11 (Gardziejczyk, 2016).

VTAC 8 ve PAC 8 500-2000 Hz frekans aralığında maksimum ses seviyesinde büyük bir artış meydana gelmiştir. 2011’de kaydedilen seviyeye göre 1000 Hz’ de bu artış yaklaşık 10 dB (A) kadardır. Bunun ana nedeni ise gözeneklerin tıkanmasıdır. TMA 11’de 2014 ve 2011’deki sonuçlar arasındaki fark 1000 Hz’ nin üzerindeki frekanslarda 1-4 dB (A) idi. Nedeni ise kaplamanın dokusunda bazı değişikliklere neden olan bağlayıcı madde çıkışlarıydı. 2.bölgedeki karayolu bölümlerinde yapılan sonuçlara göre ise belirli hızlarda binek otomobil ve çok akslı ağır araçtan gelen ses spektrumları zaman içinde ses seviyesindeki artışı teyit etmiştir. 2011-2014 yılları arasında istatistiksel binek otomobili sırasında, PAC kaplamasında 630-2500 Hz frekans aralığında önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. 2014 yılında PAC 11’de gürültü seviyesinin artmasının nedeni ise yüzeydeki gözeneklerin tıkanması ve çalışma sırasında meydana gelen makro doku

değişiklikleridir. TMA 11’de ise ses seviyeleri çok akslı ağır araç durumunda, spektrumlar binek otomobile benzer. Farklılıklar binek otomobile göre biraz daha yüksektir (Gardziejczyk, 2016).



Şekil 49. 1/3 oktav bantlarında A ağırlıklı frekans spektrumları: (a) binek otomobili, V: 110 km/s, (b) çok akslı ağır araç, V: 85 km/s (Gardziejczyk, 2016).

Sonuçlara göre boşluk içeriği artmış yol kaplamaları (PAC, VTAC) söz konusu olduğunda; kullanım ömrü uzunluğu, uygun bakımı ve akustik dayanıklılığı üzerinde önemli etkiye sahiptir (Gardziejczyk, 2016).

Avrupa ülkelerinde çeşitli asfalt kaplamalarının gürültü seviyelerinin karşılaştırılmasında yapılan çalışmaların bazıları Tablo 19 ve Tablo 20’de verilmiştir (Şit vd., 2020).

Tablo 19. Farklı kaplama yüzey türlerinde gürültü

Ülke (Bildirilen Yıl)	Yüzey Tipleri	Genel Sonuçlar
Britanya Kolumbiyası, Kanada (1999)	Yoğun Gradsayonlu Asfalt & Açık Gradsayonlu Aşınma Tabakası (Poroz Asfalt)	Üç yıllık hizmetin ardından poroz asfalt yoğun gradasyonlu asfalttan 3,5 ila 4,0 dB(A) daha sessiz.
İtalya (1990)	Yoğun Gradsayonlu Asfalt & Açık Gradsayonlu Aşınma Tabakası	Poroz asfalt yoğun gradasyonlu asfalttan 3 dB(A) daha sessiz.
Almanya (1990)	Yoğun Gradsayonlu Asfalt & Açık Gradsayonlu Aşınma Tabakası	Poroz asfalt yoğun gradasyonlu asfalttan 4 ila 5 dB(A) kadar daha sessiz.
İtalya (1998)	Yoğun Gradsayonlu Asfalt & Taş Mastik Asfalt	Taş mastik asfalt gürültü seviyesinde yoğun gradasyonlu asfaltta göre 110 km/s'de 7,0 dB(A) kadar azalma olduğu görülmüştür
Almanya (1991 ve 1998)	Yoğun Gradsayonlu Asfalt & Taş Mastik Asfalt	Taş mastik asfalt yoğun gradasyonlu asfalttan 2,5 ve 2,0 dB (A) daha sessiz

Tablo 20. Farklı kaplamalı yüzey tiplerinin ortalama gürültü seviyelerinin karşılaştırılması

Kaplama Yüzey Tipi	dB (A)
Açık Gradsayonlu Aşınma Tabakası (Poroz Asfalt)	-4
Taş Mastik Asfalt Kaplama	-2
Yoğun Gradsayonlu Asfalt Kaplama	0(referans)

Tablo 20’de yoğun gradasyonlu asfalt kaplamalar referans alınarak kaplamaların ses seviyesindeki azalmaları gösterilmektedir. Taş mastik asfaltta ses seviyesinin 2 dB (A) olarak azaldığı görülmektedir. Poroz asfaltta ise 4 dB (A) ‘lık bir azalma görülmektedir (Şit vd., 2020).

Laboratuvar ortamlarında yapılmış olan çalışmalara göre kullanılan katkı malzemesinin ses emme potansiyellerini ölçmenin iki önemli yolu bulunmaktadır. Bunlardan biri sadece özel çalışmalar için kullanılan bir yankılanma odası kullanmak, diğeri ise bir empedans tüpü yardımıyla ses özelliklerini analiz etmek. Bunun için nominal maksimum agrega boyutunun asfalt bağlayıcı tipleri ve hava boşluğu yüzdelерinin gürültüyü azaltma etkileri incelenmiştir. Nominal maksimum agrega boyutuna sahip asfalt karışımların daha yüksek gürültüyü azaltma performansı gösterdiği görülmüştür (Guo vd., 2018).

Yoğun gradasyonlu asfalt kaplamalar ve taş mastik asfalt kaplamalarda lastik-kaplama gürültü seviyesi esas olarak bu yüzeylerin makro dokusuna bağlıdır. Lastik-kaplama gürültüsü ile makro dokusu arasında, ortalama profil derinliği ve ortalama doku derinliği ile tanımlanan bir ilişki vardır (Gardziejczyk, 2016).

Tablo 21’de araştırmacılar tarafından gürültüyü azaltmak için kaplama üzerinde yapılan farklı çalışmaların test sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 21. Araştırmacılar tarafından kaplamalar üzerinde yapılan gürültü azaltma testlerinin sonuçları (Ling vd., 2021).

No	Referanslar	Test Metodu	Kaplama Tipi	Bulgular
1	Moore ve arkadaşları (2001)	(1) yol kenarı gürültüsü / SPB (2) araç içi gürültü / Mikrofon araca yerleştirildi	Poroz asfalt kaplama	(1) gözenekli kaplamalar yüksek frekanslı bölgelerdeki gürültüyü azaltır.
2	Vaitkus ve arkadaşları (2017)	Empedans tüp yöntemi	Poroz asfalt kaplama ve Taş mastik asfalt kaplama	(1) Poroz asfaltın akustik absorpsiyon özellikleri TMA’dan çok daha yüksektir.
3	Altreuther ve Maennel. (2018)	SPB	Taş mastik asfalt kaplama	(1) TMA otoyollar, yerel ve şehir içi yollar için uygundur; (2) Hizmet ömrü yaklaşık 10 yıldır
4	Anfosso-Ledde ve Pichaud (2007)	Kontrollü Geçiş (CPB)	Yoğun gradasyonlu asfalt kaplama ve poroz asfalt kaplama	Sıcaklıktaki her 1 C’lik artış için, lastik-kaplama gürültüleri; yoğun asfalt; 0.1 dB (A) poroz asfalt; 0.06 dB (A).

Sessiz asfalt kaplamalar sadece iyi bir kaplama performansı ve gürültü azaltma performansı sağlamakla kalmaz, bunların yanında daha rahat ve verimli bakım teknolojisine de sahiptir (Ling vd., 2021).

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, gürültü nedenleri ve kaynakları araştırılmış, karayolu ulaşımından kaynaklanan gürültüler irdelenmiş, gürültü ölçüm ve tahmin yöntemleri, gürültü azaltma teknikleri araştırılmıştır. Son olarak, yoğun gradasyonlu asfalt kaplama, poroz asfalt kaplama ve taş mastik asfalt kaplamalardaki askustik özellikler değerlendirilmiş, literatüre dayalı genel bir karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Gürültü kirliliği, zaman geçtikçe nüfusun artması, sanayinin ve teknolojinin gelişmesi, üretim ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi, araç sahipliğindeki artış, hareketliliğin artması gibi sebeplerden yükselmektedir. Bu da zamanla yaşamı daha da zor bir hale getirmiştir. Gürültünün oluşumuna neden olan çeşitli kaynaklar bulunmaktadır; ulaşım kaynaklı gürültüler, inşaat kaynaklı gürültüler, sanayi tesisleri ve fabrikalarda meydana gelen gürültüler, müzik aktiviteleri, televizyon, radyo gibi etkenlerden meydana gelen gürültüler vb. Ancak bu kaynakların başında karayolu kaynaklı gürültüler gelmektedir. Araç sayılarının zamanla artması trafikte yoğunluğa sebep olmakta ve buna bağlı olarak gürültü artmaktadır. Karayolundan kaynaklanan gürültüler çeşitli sebeplerden dolayı ortaya çıkmaktadır; bu gürültüler yollardan kaynaklı gürültüler, araçlardan kaynaklı gürültüler, sürücülerden kaynaklı gürültüler ve çevresel koşullardan kaynaklı gürültüler şeklinde belirtilebilir. Araştırmalara göre ortaya çıkan bu gürültülerden dolayı insan sağlığında (sinir, stres, öfke, uyku bozukluğu vb.) önemli sorunlar ortaya çıkabilmektedir (Griefanh ve Basner, 2011; Chetoni vd., 2016).
- Karayolu trafik gürültüsünün değerlendirilmesi için çeşitli trafik tahmin modelleri (FHWA Modeli, CoRTN Modeli, RLS 90 Modeli, Son Road Modeli gibi) geliştirilmiştir. Bu modellerin temel amacı gürültü seviyelerini ölçüm yapmadan daha kısa sürede daha az maliyetle ve daha kolay bir şekilde yapmaktır. Bu modellerden elde edilen veriler ortaya çıkan gürültüyü tahmin etmek için kullanılmaktadır.
- Karayolu trafik gürültüsünü belirlemek için çeşitli ölçüm yöntemleri geliştirilmiştir. Bu ölçümler genellikle gürültüye neden olan kaynakları anlamak ve daha sessiz kaplamalar üretmek için yapılmaktadır. Gürültü ölçüm yöntemleri üç

- farklı kategoriye ayrılabilir; yol kenarı gürültü ölçüm yöntemleri, kaynakta gürültü ölçüm yöntemleri, laboratuvar davul gürültü ölçüm yöntemleri. Laboratuvar davul yöntemi diğer ölçüm yöntemlerine göre ölçümleri daha hassas yapar. Amaç ölçüm sırasında küçük farklılıkları daha iyi izole etmektir (Ohiduzzaman vd., 2016). Karayolu trafik gürültüsünü önlemek için çeşitli gürültü azaltma yöntemleri (gürültü bariyerleri, ağaçlandırma yöntemi, gabion duvarlar, trafik yönetimi gibi) geliştirilmiştir. Bu yöntemler sayesinde ortaya çıkan gürültü seviyesinde belirli azalmalar olduğu görülmüştür. Gürültü bariyerinin kullanılması sonucunda alıcıya giden gürültüde 7 ila 10 dB(A) arasında azalma olmaktadır (Bowlby vd., 2016). Ağaçlandırma yönteminde ise gürültü seviyesinde yaklaşık 10 dB(A)'lık bir azalma olduğu görülmüştür (FHWA, 2011).
- Poroz asfalt kaplamalarda kaba agrega oranı ve boşluk oranı yüksek olduğundan dolayı yolda sürtünmeden kaynaklanan gürültü problemini azaltmada etkili olduğu görülmüştür. Çalışmalara göre gürültü azaltımı 3 ile 6 dB arasında, yaklaşık olarak %25-%50 arasındadır (Özay ve Öztürk, 2013). Bu kaplamalar genellikle iyi drenaj ve akustik gürültü azaltma özelliklerine sahip olduğu için tercih edilirler. Poroz asfalt kaplamalar tek ve çift katmanlı olarak yapılabilmektedir. Yapılan çalışmalara göre tek katmanlı kaplamalar %20 veya daha yüksek gözenekli yapıya sahip olup gürültü seviyesini 3 dB(A) azaltmaktadır (Yoo vd., 2020; Han ve Lee, 2019). Çift katmanlı kaplama ise farklı agrega boyutlarına sahip iki katmanlı bir kaplama anlamına gelip gürültü seviyesini 7-11 dB(A) kadar azaltmaktadır (Yoo vd., 2020).
- Taş mastik asfalt kaplamalar yaklaşık %70-%80 oranında kaba agrega, %20-30 oranında ince agrega ve %6-7 oranında bitüm içermektedir. Kaba agrega miktarının yüksek olmasından dolayı kaplamada yüksek oranda boşluk meydana gelir ve bu boşluklar mastik karışımlarla (ince agrega, mineral filler, bitüm ve süzülme önleyici katkı maddeleri) doldurulur (Şit vd., 2020). Kaplamanın içeriğinde bulunan zengin hamur sayesinde kaplama daha dayanıklı hale gelir. TMA kaplamalar ve poroz asfalt kaplamalarda kaba agrega oranı fazladır ancak mastik ile doldurulan boşluk seviyeleri farklıdır. Bundan dolayı ikisinin akustik absorpsiyonunda farklılık görülmektedir. TMA kaplamalar ve poroz asfalt kaplamalar iyi bir ses absorpsiyonu sağlar ancak zamanla poroz asfalt kaplamaların gözenekleri tıkanığından gösterdiği bu etki daha çok azalmaktadır. Çalışmalara göre zamanla

taş mastik asfaltta ses seviyesinin 2 dB (A) olarak azaldığı, poroz asfaltta ise 4 dB (A)'lık bir azalma olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalarda TMA, yoğun gradasyonlu asfalt kaplama yerine kullanıldığında gürültü seviyesinde yaklaşık olarak 5.2 dB(A)'lık bir azalma olduğu görülmüştür (Şit vd., 2020). TMA'ların maliyeti diğer kaplamalara göre biraz daha yüksek olmasına rağmen gösterdiği akustik performans ve bakım-onarım faaliyetleri düşünüldüğünde avantaj sağlamaktadır (Şit vd., 2020).

- Yoğun gradasyonlu kaplamalardaki kaba agrega oranı taş mastik asfalt kaplama ve poroz asfalt kaplamalara göre daha azdır. Gürültü seviyesini azaltmak için ses emme verimliliği yüksek olan katkı maddeleri kullanmak gerekir (Şit vd., 2020).
- Yapılan çeşitli çalışmalar sonucunda poroz asfalt, taş mastik asfalt ve yoğun gradasyonlu asfaltların akustik özellikleri karşılaştırılmış; Poroz asfalt kaplama, taş mastik asfalt kaplama ve yoğun gradasyonlu asfalt kaplamaya göre gürültü seviyesinde 1.5 ila 4 dB(A) azalma gösterir (Yu vd., 2014). Poroz asfalt kaplamalar içerdikleri yüksek hava boşluğu içeriğinden dolayı diğer iki kaplamaya göre daha iyi bir akustik özellik göstermektedir. Ancak diğerlerine göre dezavantajı ise gözenekler zamanla tıkanacağı için daha kısa ömürlü olmasıdır. TMA kaplamalar içerdikleri zengin agrega karışımı, boşluk oranı ve gürültü azaltma özelliğine sahip katkı maddelerinden dolayı yoğun gradasyonlu kaplamaya göre 7 dB(A) daha az gürültü oluşturmuştur (Şit vd., 2020). Taş mastik asfalt kaplamalar, poroz asfalt ve yoğun gradasyonlu asfalt kaplamalara göre daha uzun ömürlüdür. Ancak diğer iki asfalta göre daha yüksek maliyetlidir. Yoğun gradasyonlu asfalt kaplamaların gürültü performanları diğer kaplamalara göre daha azdır. Gürültü azaltma performansı göstermesi için ses emme verimliliği yüksek olan katkı maddeleri kullanılmaktadır.
- Gürültü günümüzde önemli bir sorun haline gelmektedir. Özellikle karayolu kaynaklı gürültüler daha belirgin bir hal almaktadır. Gürültünün daha az meydana gelmesi için gelecekte daha çok çalışma yapılacağı düşünülmektedir. Alınabilecek tedbirlerle kaplamalardan kaynaklanan gürültü seviyesinde azalmalar sağlanabilir. Daha düşük gürültülü kaplamalar üretilip gürültü seviyesi daha aza indirilebilir.

10. KAYNAKLAR

- Abdmouleh, M.A. ve Dahech, S., 2014. Répartition spatiale de la pollution sonore dans l'agglomération de Sfax de la mesure à la modélisation, Journées Interdisciplinaires de la Qualité de l'Air, Villeneuve-d'Ascq.
- Abbott, G., Morgan, A. ve McKell, B., 2011. A Review of Current Research on Road Surface Noise Reduction Techniques; Project Record: TRL/001/08; Transportation Research Laboratory: Wokingham, UK.
- af Wahlberg, A. E., 2004. The stability of driver acceleration behavior, and a replication of its relation to bus accidents, Accident Analysis and Prevention, 36,83–92.
- Ahammed, M.A. ve Tighe, S.L., 2011. Acoustic Absorption of Conventional Pavements, J. Pavement Res. Technol., 4,1,41-47.
- Aksnes, J., 2009. Environmentally Friendly Pavements; Norwegian Public Roads Administration: Oslo, Norway.
- Aktürk, N., Toprak, R. ve Asiloğulları, E., 2003. Hızlı Raylı Ulaşım Sistem Kaynaklı Çevresel Gürültü, Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18, 3, 15-25.
- Allard, J.F., 1993. Propagation of Sound in Porous Media. Elsevier Applied Science, London.
- Alber, S., Ressel, W., Liu, P., Hu, J., Wang, D., Oeser, M., Uribe, D. ve Steeb, H., 2018. Investigation of microstructure characteristics of porous asphalt with relevance to acoustic pavement performance, International Journal of Transportation Science and Technology, 7, 199–207.
- Alexandra, A., 1975. Road Traffic Noise, New York-Wiley, ABD.
- Amarasiri, S., Gunaratne, M. ve Sarkar, S., 2012. Use of digital image modeling for evaluation of concrete pavement macrotexture and wear, J. Transport. Eng. 138, 5, 589-602.
- Amares, S., Sujatmika, E., Hong, T., W., Durairaj, R. ve Hamid, H., S., H., B., 2017. A review: characteristics of noise absorption material, Journal of Physics: Conference Series, vol. 908.
- Avsar, Y. ve Gonullu, M.T., 2000. A map preparation for outdoor noises of educational buildings in Fatih District of Istanbul. International Symposium on Noise

Control & Acoustics for Educational Buildings, 24–25 May, Yildiz Technical University, Istanbul/Turkey. pp. 69–76.

- Avşar, Y. ve Gönüllü, M.T., 2005. Determination of safe distance between roadway and school buildings to get acceptable school outdoor noise level by using noise barriers, Building and Environment, 40, 1255–1260.
- Babisch, W., 2011. Cardiovascular effects of noise, Noise Health, 13, 201–204.
- Banerjee, D., 2013. Road traffic noise exposure and annoyance: A cross-sectional study among adult Indian population, Noise Health 15,66, 342–346.
- Bastow, R., Webb, M., Roy, M., ve Mitchell, J., 2008. An Investigation of the Skid Resistance of Stone Mastic Asphalt Laid on a Rural English County Road Network, Dorset County, Dorchester, UK. Online <http://www.transit.govt.nz/technical/surfacefriction/pdf/Investigation-Skid-Resistance-Stone-Mastic-Asphalt-laid-Rural-English-County-Road-Network.pdf>. 6 Mart 2021.
- Bay, F. ve Güney, A., 1998. Lastik Yol Gürültüsü, 4. Akustik ve Gürültü Kongresi, Kasım , Antalya, Türkiye, Ekim 29-31.
- Beckenbauer, T., Klein, P., Hamet, J.F. ve Kropp, W., 2008. Tyre-road noise prediction: a comparison between the SPERoN and HyRoNE models-Part 1, J. Acoust. Soc. Am. 123, 5, 3388-3388.
- Bendtsen, H., 2010. Noise Barrier Design: Danish and Some European Examples; Report: UCPRC-RP-2010-04; Road Directorate, Danish Road Institute: Copenhagen Denmark.
- Bendtsen, H., 1998. Drainage asphalt and noise reduction over a long period. In Proceedings of the Euro-Noise , Munich, Germany.
- Bendtsen, H. ve Andersen, B., 2005. Noise-reducing pavements for highways and urban roads-state of the art in Denmark. In Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists Technical Sessions, Long Beach, CA, USA.
- Bendtsen, H. ve Raaberg, J., 2007. Safety and Noise Reduction, Thin Layers; Technical Note 52; Road Directorate, Danish Road Institute: Copenhagen, Denmark.
- Berglund, B., Lindvall, T. ve Schwela, D.H., 1999. Guidelines for community noise, URL: <http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf>. 6 Mart 2021.

- Bernhard, R. ve Wayson, R., 2005. An Introduction to Tire-Pavement Noise; Final Research Report SQDH 2005-1; Purdue University: West Lafayette, IN, USA.
- Bernhard, R., Wayson, R.L., Haddock, J., Neithalath, N., El-Aassar, A., Olek, J. et al., 2005. An Introduction to Tire/Pavement Noise of Asphalt Pavement, Institute of Safe, Quiet and Durable Highways, Purdue University.
- Birkan, S., Çilli, A., Çetin, A.F., Tümay, A. ve Çelenk, E., 1997. Ankara city traffic impactassessment study, In ESRI International User Conference; San Diego, California; [http://gis.library.esri.com/cgi-bin/koha/opacdetail.pl?biblionumber=72830&query_desc=au%2Cwrdl%3A%20Birkan%20S].
- Bıçakcı, T., 2011. “Trafikten kaynaklanan çevresel gürültü haritaları ve Çukurova Üniversitesi kampüsü örneği.” Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bil.Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 135, Adana.
- Boscaino, G., Pratico, F.G., and Vaiana, R., 2004. Texture Indicators and Surface Performance in Flexible Pavements, Proceedings of the Fifth International Symposium on Pavement Surface Characteristics (SURF 2004), Toronto, Ontario, CD-ROM.
- Bouزيد, I., Derbel, A. ve Elleuch, B., 2020. Factors responsible for road traffic noise annoyance in the city of Sfax, Tunisia, Applied Acoustics, 168,107412.
- Bowlby, W., Pratt, G., Williamson, R., Knauer, H. ve Kaliski, K., 2016. Noise Barrier Acceptance Criteria: Analysis; FHWA Publication No. FHWA-HEP-16-017; Federal Highway Administration, US Department of Transportation: Washington, DC, USA.
- Bozkurt, Z., ve Selek, Z., 2019. Karayolu Ulaşımında Farklı Yol Kaplamalarının Çevresel Gürültü Seviyesine Katkılarının İncelenmesi: Adana Örneği, Politeknik Dergisi, 22(2) :415-429.
- Brown, A.L., 2014. An overview of concepts and past findings on noise events and human response to surface transport noise. In Proceedings of the 43rd Nternational Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Internoise), Melbourne, Australia, 16–19.
- Bull, J., Watts, G. ve Pearse, J., 2017. “The use of in-situ test method EN 1793-6 for measuring the airborne sound insulation of noise barriers,” Applied Acoustics, 116, 82–86.

- Busch, T., Hodgson, M. ve Wakefield, C., 2003. Scale-model study of the effectiveness of highway noise barriers, J Acoust Soc Am., 114, 1947–54.
- Cai, M., Zou, J., Li, F., Luo, W., Wang, D. ve Chen, Z., 2012. Research and application of the urban environment noise simulation and evaluation system named” Zhong Da Sheng Tu”, Acta Sci Nat Univ Sunyatseni, 51,01,39–44.
- Calixto, A., Diniz, F.B. ve Zannin, P.H.T., 2003. The statistical modeling of road traffic noise in an urban setting, Cities, 20,1,23–9.
- Campbell, K., 2000. Propagation of sound and related shadow zones: The reality of field measurements versus modeled studies, Wall J., 41, 12–16.
- Chetoni, M., Ascari, E., Bianco, F., Fredianelli, L., Licitra, G. ve Cori, L., 2016. Global noise score indicator for classroom evaluation of acoustic performances in Life Gioconda Project, Noise Mapping, 3,157–171.
- Cho, D.S., Kim, J.H., Choi, T.M., Kim, B.H. ve Manvell, D., 2004. Highway traffic noise prediction using method fully compliant with ISO 9613: comparison with measurements, Applied Acoustics, 65, 883–892.
- Cho, Y.H. ve Son, J.K., 2011. Cost / Benefit Analysis of Sound Barrier Walls and Porous Pavement, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 502-507, (in Korean).
- Christensen, J.S., Raaschon-Nielsen, O., Ketzel, M., Ramlau-Hansen, C.H., Bech, B.H., Olsen, J. ve Sorensen, M., 2017. Exposure to residential road traffic noise prior to conception and time to pregnancy, Environ. Int. 106, 48–52.
- Chu, L. ve Fwa, T.F., 2019. Functional sustainability of single- and double-layer porous asphalt pavements, Construction and Building Materials ,197, 436–443.
- Civelek, U., 2011. Poroz Asfalt, Bitirme Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Tasarımı Öğretmenliği Bölümü, Isparta.
- Cafiso, S., Graziano, A., Kerali, H. ve Odoki, J. 2002. Multicriteria analysis method for pavement maintenance management. J. Transp. Res. Rec., 1816, 73–84.
- CROW – 1999. Het wegdek gecorrigeerd op akoestische eigenschappen. Publicatie 133, Januari CROW, Ede, The Netherlands.

- Cura, O., 1994, Gürültü ve Sağlık, 1. Ulusal Gürültü Kongresi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- ÇGDYY, 2005. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, Resmi Gazete, Tarih:1.7.2005, Sayı: 25862.
- De Coensel, B., Botteldooren, D., De Muer, T., Berglund, B., Nilsson, M.E. ve Lercher, P., 2009. A model for the perception of environmental sound based on notice-events, J. Acoust. Soc. Am., 126, 656–665.
- De Kluizenaar, Y., Ganzevoort, R.T., Miedema, H.M. ve De Jong, P.E., 2007. Hypertension and road traffic noise exposure, J. Occup. Environ. Med. 49,5, 484-492.
- Debik, E. ve Altay, A.D., 1999, İstanbul’da Trafik Kaynaklı Gürültü Kirliliğinin Boyutları, Türkiye’de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu III, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, s:1081- 1086.
- Defrance, J., Attenborough, K., Horoshenkov, K., Koussa, F., Jean, P. ve Van Renterghem, T., 2011. Innovative barriers exploiting natural materials. Technical Report on “Choice and adaptation of models”. Deliverable 2.2 of HOSANNA, Collaborative Project under the Seventh Framework Programme, Theme 7, Sustainable Surface Transport.
- Defrance, J., Jean, P., Koussa, F., Horoshenkov, K., Khan, A., Benkreira, H., et al., 2013. Innovative barriers exploiting natural materials. Technical Report on “Application to innovations”. Deliverable 2.3 of HOSANNA, Collaborative project under the Seventh Framework Programme, Theme 7, Sustainable Surface Transport.
- Ding, Y. ve Wang, H., 2017. “FEM-BEM analysis of tyre-pavement noise on porous asphalt surfaces with different textures,” International Journal of Pavement Engineering, 1–8.
- Dokumaci, E., 2014. On the effect of viscosity and thermal conductivity on sound propagation in ducts: a re-visit to the classical theory with extensions for higher order modes and presence of mean flow, J. Sound Vib. ,333, 21, 5583-5599.
- Donavan, P., 2005. Reducing traffic noise with quieter pavements. In Proceedings of the Noise-Con Minneapolis, MN, USA.
- EEA Report, Noise in Europe 2014, No 10/2014.

Eberhardt, A.C., 1981. An Experiment and Analytical Investigation of the Vibration Noise Generation Mechanisms in Truck Tires, Report No DOT-HS-805-868. U.S Department of Transportation, Washington, DC, USA.

Erdogan, S., Dogan, M., Yılmaz, İ., Güllü, M., Baybura, T., Melike, U. L. U. ve Ömer, S. İ. S. E., 2007. Afyonkarahisar il merkezi karayolu trafik gürültü haritasının hazırlanması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7, 151-164.

European Asphalt Pavement Association (EAPA), 2007. Abatement of Traffic Noise—The Arguments for Asphalt; EAPA: Brussels, Belgium.

European Asphalt Pavement Association (EAPA), 1998. Heavy Duty Surfaces: The Arguments for SMA; EAPA: Brussels, Belgium.

FEHRL, 2006. Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control: Guidance Manual for the Implementation of Low-noise Road Surfaces, Report no. 2006/2, Forum of European National Highway Research Laboratories (FEHRL), Brussels, Belgium.

Federal Highway Administration (FHWA)., 2011. Highway Traffic Noise: Analysis and Abatement Guidance; Report No. FHWA-HEP-10-025; Federal Highway Administration, US DOT: Washington, DC, USA.

Fields, J.M., 1993. Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas. J. Acoust. Soc. Am., 93,5, 2753–63.

Fleming, G., Rapoza, A.ve Lee, C., 1996. Development of National Reference Energy Mean Emission Levels for the FHWA Traffic Noise Model (FHWA TNM®); Report No. DOT-VNTSC-FHWA-96-2, Version 1.0; U.S. Department of Transportation: Washington, DC, USA; Volpe National Transportation Systems Center: Cambridge, MA, USA.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV, ed.), 2013. Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen – TL Asphalt-StB, Ausgabe 2007/Fassung 2013.

Freitas, E., Mendonça, C., Santos, J.A., Murteira, C. ve Ferreira, J.P., 2012. Traffic noise abatement: How different pavements, vehicle speeds and traffic densities affect annoyance levels, Transp. Res. D, Transp. Environ., 17,4, 321-326.

- Fyhri, A. ve Aasvang, G.M., 2010. Noise, sleep and poor health: Modeling the relation between road traffic noise and cardiovascular problems, Sci. Total Environ. 408,21, 4935-4942.
- Fujiwara, K., Hothersall, D.C. ve Kim, C.H., 1998. Noise barriers with reactive surfaces, Appl Acoust., 53,4, 255-72.
- Fülop, I.A., Bogardi, I., Gulyas, A. ve Csicsely-Tarpay, M., 2000. Use of friction and texture in pavement performance modeling. J. Transport. Eng. 126 ,3, 243-248.
- Fwa, T.F., Tan, S.A. ve Chuai, C.T., 2000. Evaluating drainage properties of porous asphalt pavements for wet weather travel safety, in: Proc. 2nd Asia Pacific Conference on Transportation and the Environment, China Academy for Transportation Sciences, Beijing, China, 1027-1034.
- García, A. and Mérida, A., 2005. Urban Traffic Noise Reduction by Quiet Pavements: Experimental Results, Proceedings of the 84th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, D.C., USA, CD-ROM.
- Gardziejczyk, W., 2016. The effect of time on acoustic durability of low noise pavements – The case studies in Poland, Transportation Research Part D, 44, 93- 104.
- Garg, N. ve Maji.S., 2014. A critical review of principal traffic noise models: Strategie and implications, Environmental Impact Assessment Review, 46, 68-81.
- Glaeser, K., 2007. Road Surface Characteristics and Type Road Noise. Federal Highway Research Institute BAST.
- Golmohammadi, R., Abbaspour, M., Nassiri, P.ve Mahjub, H., 2009. A compact model for predicting road traffic noise, Iran J Environ Health Sci Eng., 6,181-6.
- Greer, G., 2006. Stone mastic asphalt-a review of its noise reducing and early life skid resistance properties, In Proceedings of ACOUSTICS, 319-323.
- Griefahn, B. ve Basner, M., 2011. Disturbances of sleep by noise. In Proceedings of the Acoustics, Gold Coast, Australia.
- Guo, Z., Yi, J., Xie, S., Chu, J. ve Feng, D., 2018. Study on the Influential Factors of Noise Characteristics in Dense-Graded Asphalt Mixtures and Field Asphalt Pavements.

- Han, D.S. ve Lee, S.H., 2019. Concerns, Reality, and Improvement Plan of Introduction of Porous Pavement, Magazine of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 29,4, 15-18.
- Hanson, I., James, S. ve NeSmith, C., 2004. Tire-Pavement Noise Study; National Center for Asphalt Technology: Auburn, AL, USA.
- Herman, R., Montroll, E., Potts, R., ve Rothery, R., 1959. Traffic dynamics: Analysis of stability in car following, Operations Research, 7, 86–106.
- Heutschi, K., 2004. Son Road: new Swiss road traffic noise model. Acta Acust United Acust., 90, 548–54.
- Hinton, J., Jellyman, A. ve Howell, K., 2005. BUMP—The Birmingham updated noise mapping project, Acta Acustica United with Acustica, 1, 66–8.
- Hutchins, D., Jones, H. ve Russell, L., 1984. Model studies of barrier performance in the presence of ground surfaces. Part II – Different shapes. J Acoust Soc Am., 75,1817– 26.
- Ilıc, P., Markic, D.N. ve Bjelic, L.S., 2018. Traffic Noise Levels In The City Of Banja Luka, Quality Of Life , 9,1-2, 20-26.
- İmamoğlu, C.T., 2012. Atık Lastik Katkılı Asfalt Kaplamalara Trafik Gürültüsünü Sönümlemedeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ingemansson, S., 1999. Noise control: principles and practices-Part 15. Noise News International 7,2, 97-103.
- International Standard ISO 11819-1, 2005. Acoustics-Method for Measuring the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise. Part 1: The Statistical Pass-by Method; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland.
- International Standard ISO-11819-2, 2000. Acoustics-Measurement of the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise. Part 2: Close-Proximity Method; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland.
- Isei, T., Embleton, T. ve Piercy, J., 1980. Noise reduction by barriers on finite impedance ground, J. Acoust Soc.Am., 67,46–58.

- Iwai, S., Miura, Y., Koike, H. ve Levy, G., 1994. "Influence of porous asphalt pavement characteristics on the horn amplification of tire/road contact noise," Inter-Noise 94, 431-434.
- Iwao, K. ve Yamazaki, I., 1996. A study on the mechanism of tire/road noise, JSAE Rev., 17, 2, 139-144.
- Jabben, J., Potma, J. ve Swart, J., 2001. Continuous monitoring of noise emission from roadways. In Proceedings of the Inter-Noise 2001, The Hague, The Netherlands.
- Jean, P., 1998. A variational approach for the study of outdoor sound propagation and application to railway noise. J. Sound. Vib., 212, 275-94.
- Jeong, J.S., Sohn, J.R., Lee, S.H. ve Yang, H.S., 2015. A Case Study of Noise Reduction by Installation of Double-layered Porous Pavement in Urban Area, Journal of the Korean Society of Highway Engineers, 18, 15.
- Jones, T. ve Potts, R., 1962. The measurement of acceleration noise – A traffic parameter. Operations Research, 10, 745-763.
- Jrai, K.K., 1990. "Prediction and control of road traffic noise exposure and annoyance associated with non-free flowing vehicular traffic in urban areas", in Proceedings of 15th Australian Road Research Board Conference, part 7, 179-197.
- Kandhal, P., 2004. Asphalt pavements mitigate tire/pavement noise, Hot Mix Asphalt Technol. 9, 22-31.
- Kephalopoulos, S., Paviotti, M. ve Anfosso-Lédée, F., 2012. Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU); Publications Office of the European Union: Luxembourg.
- Kim, M.K., Barber, C. ve Srebric, J., 2017. Traffic noise level predictions for buildings with windows opened for natural ventilation in urban environments, Science and Technology for the Built Environment, 23, 726-735.
- Kim, C.H., Jang, T.S. ve Kim, D.S., 2012. Characteristic Analysis of Highway Noise, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 22, 12, 1191-1198.

- Kinsler, L.E., Frey, A.R., Coppens, A.B. ve Sanders, J.V., 2000. Fundamentals of acoustics (4ed.), New York: John Wiley & Sons Inc.
- Kleizienė, R., Šernas, O., Vaitkus, A. ve Simanavičienė, R. 2019. Asphalt pavement acoustic performance model, Sustainability, 11,10, 2938.
- Ko, J., Guensler, R. ve Hunter, M., 2010. Analysis of effects of driver/vehicle characteristics on acceleration noise using GPS-equipped vehicles, *Transportation Research Part F*, 13, 21–31.
- Kotzen, B., 2009. English C. Environmental noise barriers – a guide to their acoustic and visual design. 2nd ed. London: Taylor and Francis.
- Koussa, F., Defrance, J., Jean, P. ve Blanc-Benon, P., 2013. Acoustic performance of gabions noise barriers: numerical and experimental approaches, Appl Acoust., 74, 189–97.
- Kowalski, K., 2007. Influence of Mixture Composition on the Noise and Frictional Characteristics of Flexible Pavements. Ph.D. Thesis, Purdue University, West Lafayette, IN, USA.
- Kragh, J., 1981. Road traffic noise attenuation by belts of trees. J Sound Vib., 74,235–41.
- Kragh, J. ve Jessen, B.B., 2001. Noise emission data for vehicles driving at constant speed in road traffic measured in 1999–2000 by Delta. Delta Acoustics and Vibration report, AV 1018/01, Lyngby.
- Kroger, M., Lindner, M. ve Popp, K., 2004. Influence of friction on noise and vibrations of tires, In *Proceedings of the Inter-Noise 2004*, Prague, Czech Republic, p. 1457.
- Kumbur, H. ve Coğunnu, N., 1999, İçel'in Gürültü Kirliliği Envanterinin Çıkarılması, Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu III, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, 393-405.
- Lancieri, F., Licitra, G., Losa, M., Cerchiai, M., and Berengier, M., 2000. Field and Laboratory Testing on Different Porous Asphalt Pavements, *Proceedings of the Fourth International Symposium on Pavement Surface Characteristics of Roads and Airfields: SURF 2000*, pp. 339-346, Nantes, France.

- Lee, S.H., Han, D.S., Yoo, I.K. ve Lee, S.H., 2017. An Analysis on Noise Reduction Effects of Two-Layer Porous Pavements using Statistical Methods, Journal of the Korean Society of Road Engineers, 19,6.
- L'Esperance, A., Nicolas, J., Daigle, G.A., 1989. Insertion loss of absorbent barriers on ground, J Acoust Soc Am., 86,1060–4.
- Ling, S., Yu, F., Sun, D., Sun, G. ve Xu, L., 2021. A comprehensive review of tire-pavement noise: Generation, Journal of Cleaner Production ,287,125056. mechanism, measurement methods, and quiet asphalt pavement
- Liu, M., Huang, X. ve Xue, G., 2016. Effects of double layer porous asphalt pavement of urban streets on noise reduction, International Journal of Sustainable Built Environment in press.
- Lu, T.J., Chen, F. ve He, D., 2000. Sound absorption of cellular metals with semiopen cells. J. Acoust. Soc. Am. 108 ,4, 169-1709.
- Mak, C.M. ve Leung, W.S., 2013. Traffic measurement and prediction of the barrier effect on traffic noise at different building levels, Environ Eng Manag J.,12,449-56.
- Makarewicz, R. ve Kokowski, P., 1997. “Interrupted traffic noise”, J. Acoust. Soc. Am., 101 ,1, 360–371.
- MAM (2015, 2016), “TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi,” Elazığ İli stratejik gürültü haritalarının hazırlanması raporu.
- Manvell, D., Marcosb, L.B. ve Stapelfeldt, H., 2004. SADMAM – Combining measurements and calculations to map noise in Madrid. The 33th international congress and exposition on noise control engineering, Prague.
- Mavridou, S. ve Kehagia, F., 2017. Environmental Noise Performance of Rubberized Asphalt Mixtures:Lamia’s case study, Procedia Environmental Sciences,38, 804 – 811.
- 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.
- Melo, R.A., Pimentel, R.L., Lacerda, D.M. ve Silva, W.M., 2015. Applicability of models to estimate traffic noise for urban roads, Journal of Environmental Health Science & Engineering, 13, 1-7.

- McDaniel, R.S. ve Thornton, W.D., 2005. Field Evaluation of a Porous Friction Course for Noise Control, Proceedings of the 84th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, D.C., USA, CD-ROM.
- Miljkovic, M., Radenberg, M. ve Gottaut, C., 2014. Characterization of noise-reducing capacity of pavement by means of surface texture parameters. J. Mater. Civ. Eng. 26,2, 240-249.
- Mo, L., Huurman, M., Wu, S. ve Molenaar, A.A.A., 2014. Mortar fatigue model for mesomechanistic mixture design of ravelling resistant porous asphalt concrete. Mater. Struct., 47,6, 947-961.
- Morillas, J.M.B., Escobar, G.V., Sierra, J.A.M.S., Gomez, R.V. ve Carmona, J.T., 2002, An Environmental Noise Study In The City Of Careres, Spain, Applied Acoustics, 63, 1061-1070.
- Motylewicz, M. ve Gardziejczyk, W., 2020. Statistical model for traffic noise prediction in signalised roundabouts, Technical Sciences, 68,4, 937-948.
- Myers, N.M., 2007. Stone Matrix Asphalt The Washington Experience, Master of Science in Civil Engineering, University of Washington.
- Neithalath, N., Garcia, R., Weiss, J., and Olek, J., 2005. Tire-pavement Interaction Noise: Recent Research on Concrete Pavement Surface Type and Texture, Proceedings of the 8th International Conference on Concrete Pavements, Colorado Springs, Colorado, USA, CD-ROM.
- Ndrepepa, A. ve Twardella, D., 2011. Relationship between noise annoyance from road traffic noise and cardiovascular diseases: A meta-analysis, Noise Health 13,52, 251-259.
- Nowoswait, A., Sorociak, W. ve Zuchowski, R., 2020. The impact of the application of thin emulsion mat microsurfacing on the level of noise in the environment, Construction and Building Materials, 263, 120626.
- Ohiduzzaman, MD., Sirin, O., Kassem, E. ve Rochat, J.L., 2016. State-of-the-Art Review on Sustainable Design and Construction of Quieter Pavements—Part 1: Traffic Noise Measurement and Abatement Techniques, Sustainability 8,8, 742.
- Okokon, E.O., Turunen, A.W., Ung-Lanki, S., Vartiainen, A.K., Tuttanen, P. ve Lanki, T., 2015. Road-traffic noise: Annoyance, risk perception, and noise sensitivity in

- the Finnish adult population, Int. J. Environ. Res. Publ. Health, 12,6, 5712-5734.
- Okokon, E.O., Yli-Tuomi, T., Turunen, A.W., Tiittanen, P., Juutilainen, J. ve Lanki, T., 2018. Traffic noise, noise annoyance and psychotropic medication use, Environ Int., 119, 287-94.
- Oswald, L. ve Donovan, P., 1980. Acoustic Intensity Measurements in Low Mach Number Flows of Moderate Turbulence Levels; Research Publication GMR-3269; General Motors Research Laboratories: Warren, MI, USA.
- Quartieri, J., Mastorakis, N.E., Iannone, G., Guarnaccia, C., Ambrosio, S.D. ve Troisi, A., et al., 2009. A review of traffic noise predictive models. Recent Adv Appl Theor Mech, 72-80.
- Ow, L.F. ve Ghosh, S., 2017. Urban cities and road traffic noise: Reduction through vegetation, Applied Acoustics, 120, 15-20.
- Özay, O. ve Öztürk, E., A. 2013. Modifiye Edilmiş Poroz Asfalt Karışımların Performansı, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28,3, 577-586.
- Öztürk, D., 2008. Türkiye’de Poroz Asfaltın Uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pavnovic, K., Belojevic, G. ve Jakovljevic, B., 2013. Blood pressure of urban school children in relation to road-traffic noise, traffic density and presence of public transport, Noise Health 15,65, 253-260.
- Paz, E.C. ve Zannin, P.H.T., 2010. Urban daytime traffic noise prediction models, Environ Monit. Assess., 163, 515-29.
- Petrovici, A., Cueto, J.L., Nedeff, V., Nava, E., Nedeff, F., Hernandez, R., Bujoreanu, C., Irimiciuc, S.A. ve Agop, M., 2020. Dynamic Evaluation of Tra_c Noise through Standard and Multifractal Models, Symmetry, 12, 1857.
- Piddubniak, O. ve Piddubniak, N., 2017. “Mathematical modelling of noise around a Y-shaped and windy road”, Appl. Math. Modell. 52, 672-688.
- Prowell, B.D., 2005. Design of Finer SMA Mixes, Quiet Asphalt 2005: A Tire/Pavement Noise Symposium, Lafayette, Indiana, USA.

- Rao, M.D., 2003. "Recent applications of viscoelastic damping for noise control in automobiles and commercial airplanes," Journal of Sound and Vibration, 262,3, 457–474.
- Rasmussen, R.O., Bernhard, R.J., Sandberg, U. ve Mun, E.P., 2007. The little book of quieter pavements, The Transtec Group, Report n° FHWA-IF-08-004. United States. Federal Highway Administration. Office of Pavement Technology.
- Rasmussen (The Transtec Group, U.S.), R.O., Ferragut (TDC Partners), T.R., Wiegand (National Concrete Pavement Technology Center), P.D., 2008. Comparative measurements of tire/pavement noise in Europe and the United States: NITE II. Paper at the 37th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Shanghai, China, October.
- Rawlins, A., 1976. Diffraction of sound by a rigid screen with an absorbent edge. J Sound Vib., 47,523–41.
- Reiter, P., Wehr, R. ve Ziegelwanger, H., 2017. "Simulation and measurement of noise barrier sound-reflection properties," Applied Acoustics, 123,133–142.
- Renterghem, T.V., Botteldooren, D. ve Verheyen, K., 2012. Road traffic noise shielding by vegetation belts of limited depth, J Sound Vib., 331, 2404–25.
- Renterghem, T.V., De Coensel, B., Botteldooren, D., 2013. Loudness evaluation of road traffic noise abatement by tree belts. Proceedings of the 42nd international congress and exposition on noise control engineering (Internoise 2013), Innsbruck.
- Renterghem, T.V., Attenborough, K., Maennel, M., Defrance, J., Horoshenkov, K. ve Kang, J., et al., 2014. Measured light vehicle noise reduction by hedges, Appl Acoust., 78, 19–27.
- Renterghem, T.V., Forssen, J., Attenborough, K., Jean, P., Defrance, J., Hornikx, M. ve Kang, J., 2015. Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors, Applied Acoustics 92, 86–101.
- Rochat, J., Hastings, A., Read, D. ve Lau, M., 2012. FHWA Traffic Noise Model (TNM) Pavement Effects Implementation Study: Progress Report 1; Research Report No. DOTVNTSC-FHWA-12-01; U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration: Washington, DC, USA.

- Samuels, S.E., 1990. "Development and implementation of a new method for predicting traffic noise at a signalized intersection", in Proceedings of 15th Australian Road Research Board Conference, 7, 123–139.
- Sandberg, U. ve Ejsmont, J., 2002. Tire-Road Noise Reference Book; Informex: Kisa, Sweden.
- Sandberg, U. ve Ejsmont, J.-A., 2002. Tyre/Road Noise Reference Book. Informex, Ejsmont & Sandberg Handelsbolag, Kisa, Schweden.
- Sandberg, U. ve Ejsmont, J.A., 2002. Tyre/Road Noise Reference Book, Informex, Harg, SE-59040, Kisa, Sweden, P. 640, ISBN 91-631-2610-9.
- Sandberg, U. ve Mioduszewski, P., 2015. Reduction of noise and rolling resistance by horizontal grinding of asphalt pavements. In Proceedings of the Inter-Noise 2015, San Francisco, CA, USA.
- Sandberg, U., Kragh, J., Goubert, L., Bendtsen, H., Bergiers, A., Biligiri, K., Karlsson, R. Nielsen, E., Olesen, E. ve Vansteenkiste, S., 2011. Optimization of Thin Asphalt Layers—State of the Art Review; Project: ERA-NET ROAD; European National Road Administrations: Brussels, Belgium.
- Sandberg, U., 2010. Asphalt rubber pavements in Sweden noise and rolling resistance properties. In: Proceedings of Inter-noise 2010 paper n.1011, Lisbon, Portugal.
- Sandberg, U., 2008. Review and Evaluation of the Low-Noise Road Surface Programme for Low-Speed Roads in Hong Kong, Environmental Protection Department, Hong Kong SAR.
- Shiying, L., Wingtat, H. ve Zhen, L., 2016. Air pollutant emissions and acoustic performance of hot mix asphalts, Construction and Building Materials, 129, 1–10.
- Singh, D., Kumari, M. ve Sharma, P., 2018. A Review of Adverse Effects of Road Traffic Noise on Human Health, Fluctuation and Noise Letters, 17, 1, 1830001.
- Smit, A., Trevino, M., Garcia, N.Z., Buddhavarapu, P. ve Prozzi, J., 2016. "Selection and design of quiet pavement surfaces," FHWA/TX-16/0-6819-1, Texas Department of Transportation and the Federal Highway Administration, Austin, TX, USA.

- Sørensen, M., Andersen, Z.J., Nordsborg, R.B., Becker, T., Tjønneland, A., Overvad, K. ve Nielsen, O.R., 2013. Long-term exposure to road tra_c noise and incident diabetes: A cohort study, Environmental Health Perspectives, 121, 217–222.
- Steele, C.M., 2001. A critical review of some traffic noise prediction models. Appl Acoust, 62, 271–87.
- Steere, L.B., 1973. Noise levels associated with plant mix seals. Report No. FHWARD-73-50. Federal Highway Administration, Washington, D.C., USA.
- Suarez, E. ve Barros, J.L., 2014. Traffic noise mapping of the city of Santiago de Chile, Sci Total Environ, 466–467, 539–46.
- Subramani, T., Kavitha, M. ve Sivaraj, K.P., 2012. Modelling of Traffic Noise Pollution, International Journal of Engineering Research and Applications, 2, 3, 3175–3182.
- Şit, E., İskender, E. ve Aksoy, A., 2020. Asfalt Kaplamalarda Akustik Özellikler, Journal of Investigations on Engineering & Technology, 3, 1, 27–36.
- Takahashi, S., 2013. Comprehensive study on the porous asphalt effects on expressways in Japan: based on field data analysis in the last decade, Road Mater. Pavement Des., 14 (2), 239–255, <http://dx.doi.org/10.1080/14680629.2013.779298>.
- Tan, S.A., Fwa, T.F. ve Chai, K.C., 2004. Drainage consideration for porous asphalt surface course design, Transp. Res. Rec., 1868, 142–149.
- Tao, H.L., Chen, C., Jiang, P. ve Huang, S.H., 2017. Review of cement concrete pavement of noise reduction method. In: MATEC Web of Conferences 2017, 03029.
- Taşkaya, S. ve Sesli, F.A., 2018. Elazığ İli Mevcut Stratejik Gürültü Haritalarının Anket Çalışması İle İrdelenmesi, Kent Akademisi, 11, 33, 444–458.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevresel Gürültü Eylem Planı 2009-2020.
- T.C. Resmi Gazete, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi (ÇGDYY), (27601), 04.06.2010.
- Torres-Machí, C., Chamorro, A., Pellicer, E., Yepes, V. Ve Videla, C., 2015. Sustainable pavement management: Integrating economic, technical, and environmental aspects in decision making. Transp. Res. Rec., 2523, 56–63.

- Tsai, K.T., Lin, M.D. ve Chen, Y.H., 2009. Noise mapping in urban environments: A Taiwan study, Appl Acoust. ,70,7, 964–72.
- Türk Dil Kurumu., 2006. Güncel Türkçe Sözlük: TDK. T.C Atatürk kültür, Dil ve Tarih Yüksek Kurumu: http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5bdb49e896f008.96782881.
- Uluçaylı, M. 2002. Asfalt El Kitabı. İstanbul: İSFALT.
- Umar, F. ve Açar, E., 1999. Yol Üstyapısı. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaa Fakültesi Matbaası.
- Urrestarazu, M., Carrasco, G. ve Alvaro, J.E., 2017. Design of a Modular Vegetative Unit and Fertigation Management for Noise-Abatement Walls in a Semiarid Climate, J. Irrig. Drain Eng., 143,4, 04016081.
- URL-1, <https://hatkosesbariyeri.com/ses-ve-gurultu-arasindaki-farklar-nelerdir/> Ses ve gürültü arasındaki farklar nelerdir?. 4 Mart 2021.
- URL-2, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/gurultu-tedb-rlr--el-k-tabi-20180209145441.pdf> Gürültü azaltım önlemleri el kitabı. 6 Mart 2021.
- URL-3, https://www.researchgate.net/figure/Measurements-of-vehicle-noise-CPB-method-a-test-vehicles-b-moistening-of-the_fig1_267958690. 9 Mart 2021.
- URL-4, <https://www.kosedag.com.tr/tr/urun/ses-bariyeri> Ses Bariyeri. 9 Mart 2021.
- URL-5, <https://www.saglamcit.com.tr/panel/gabion-duvar/> Gabion Duvar. 9 Mart 2021.
- URL-6, <http://haliccevre.com/images/PDF/g5.pdf> Gürültü Haritalama. 12 Mart 2021.
- URL-7, <https://www.senhesapla.com/blog/en-guncel-asfalt-fiyatlari-asfalt-maliyeti/> 17 Mart 2021.
- URL-8, <https://www.tradeindia.com/fp4798843/Customized-Stone-Mastic-Asphalt.html> Customized Stone Mastic Asphalt. 18 Mart 2021.

- Van Blokland, G. ve Peeters, B., 2009. (M+P Consulting engineers, The Netherlands), Modelling the noise emission of road vehicles and results of recent experiments. Paper at the Inter-Noise 2009 Conference, Ottawa, Canada.
- Vaitkus, A., Andriejavkas, T., Vorobjovas, V., Jagniatinskas, A., Fiks, B. ve Zofka, E., 2017. Asphalt wearing course optimization for road traffic noise reduction, *Construction and Building Materials*, 152, 345–356.
- Vázquez, V. F., Terán, F., Luong, J. ve Paje, S. E. 2019. Functional performance of stone mastic asphalt pavements in Spain: Acoustic assessment. *Coatings*, 9, 2, 123.
- Vuye, C. ve Bergiers, A., Vanhooreweder, B., 2016. The acoustical durability of thin noise reducing asphalt layers. *Coatings*, 6, 21.
- Wang, G., Smith, G. ve Shores, R., 2012. Pavement noise investigation on North Carolina highways: An on-board sound intensity approach. *Can. J. Civ. Eng.*, 39, 878–886.
- Wang, M., Yang, Y., Cao, Y. ve Zhao, Z., 2017. Research on the development and application of urban noise map, *Sci Technol Innovat.*, 06, 164.
- Watts, G., 1996. Acoustic performance of parallel traffic noise barriers, *Appl Acoust.*, 47, 95–119.
- Watts, G., 2005. Harmonoise prediction model for road traffic noise, PPR 034.
- Wayson, R.L., 1998. Relationship between Pavement Surface Texture and Highway Traffic Noise, *NCHRP Synthesis of Highway Practice*, No. 268, Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.
- WHO, (World Health Organization), 2009. Night noise guidelines for Europe, WHO Regional Office for Europe, Available from: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf.
- Winroth, J., Kropp, W., Hoever, C., Beckenbauer, T. ve Mannel, M., 2017. “Investigating generation mechanisms of tyre/ road noise by speed exponent analysis,” *Applied Acoustics*, 115, 101–108.
- World Health Organization, 2011. Burden of Disease from Environmental Noise, Quantification of Healthy Life Years Lost in Europe, Bonn, Germany.

- Yardımlı, M.S. ve Arslan, F., 2013. Türkiye’de Taş Mastik Asfalt Kaplama Kullanımı ve Literatür Üzerine Bir Değerlendirme. 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara.
- Yepes, V., Torres-Machí, C., Chamorro, A. ve Pellicer, E., 2016. Optimal pavement maintenance programs based on a hybrid greedy randomized adaptive search procedure algorithm. J. Civ. Eng. Manag., 22, 540–550.
- Yıldırım, H., Açık, S., Akgüngör, A.P. ve Doğan, E., 2014. Esnek ve Rijit Yol Üst Yapılarında Gürültü Seviyelerinin Eş Zamanlı Ölçümü ve Analizi, Pamukkale Univ Muh Bilim Derg., 20,6, 197-202.
- Yoo, I.K., Lee, S.H. ve Han, D.S., 2020. Analysis of Traffic Noise for Single and Double Layered Porous Pavement with SPB Method, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 21,9, 92-102.
- Yu, B., Jiao, L., Ni, F. ve Yang, J., 2014. Long-term field performance of porous asphalt pavement in China, Road Mater. Pavement Des., 16, 1, 214–226, <http://dx.doi.org/10.1080/14680629.2014.944205>.
- Zetterling, T. ve Nilsson, N.A., 1990. Implementation of the poro-elastic road surface, In: Proceedings of international tire/road noise conference, 315–25.
- Zhao, J., Zhang, X. ve Chen, Y., 2012. A novel traffic-noise prediction method for non-straight roads, Applied Acoustics, 73, 276–280.
- Zhao, j., Ding, Z., Hu, B., Chen, Y. ve Yang, W., 2015. Assessment and improvement of a highway traffic noise prediction model with $L_{eq}(20)$ as the basic vehicular noise, Applied Acoustics, 97, 78–83.
- Zhu, H., Liu, C., Tom, K. ve Norasit, T., 2008. Crumb rubber blends in noise absorption study. J.Mater. Struct., 41, 383–390.
- Xue, W., Huang, Z., Zhoro, B., Yang, W., Lan, Z. ve Cai, M., 2021. Updated traffic noise map method based on speed cluster, Applied Acoustics, 175, 107818.

ÖZGEÇMİŞ

Yatılı İlköğretim Bölge Okulu'ndan, 2012 yılında Ardahan Lisesi'nden mezun oldu. 2017 bahar yarıyılı sonunda Karadeniz Teknik Üniversitesi Of Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden “İnşaat Mühendisi” unvanıyla bölüm ve fakülte ikincisi olarak mezun oldu. 2018 yılında başvurduğu Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans yapmaya hak kazandı. İngilizce bilmektedir.

