

75599

LASTİK-YOL GÜRÜLTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Fatih BAY

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 Haziran 1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Haziran 1998

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet GÜNEY

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Murat EREKE

Y. Doç. Haluk EROL

8.7.1998.

İ.C. TÜRKERÖĞÜL - İ. BÜROCU
DOKÜMANİZASYON MERKEZİ

HAZİRAN 1998

ÖNSÖZ

Toplam taşıt gürültüsü içinde ilk dönemlerde en büyük etkiye sahip olan motor ve aktarma organları gürültülerini azaltmaya yönelik olarak pek çok çalışma gerçekleştirilmiş, ve bu çalışmalar sonucunda bu kaynakların gürültü seviyelerinde çok büyük iyileştirmeler sağlanmıştır. Bunun sonucunda da, bu döneme kadar pek fazla dikkate alınmayan lastik-yol gürültüsü ön plana çıkarak, motorlu taşıtlardaki en önemli gürültü kaynağı haline gelmiştir. Ancak, lastik-yol gürültüsüyle ilgili olarak gerçekleştirilmiş çalışmaların azlığı sebebiyle, literatürde konuyla ilgili bir boşluk bulunmaktadır.

Lastik-yol gürültüsü problemi oldukça karmaşıktır ve çok yönlü bir çözüm gerektirmektedir. Mevcut şartlarda lastik gürültüsünün azaltılması, büyük ölçüde güvenlikten fedakarlık edilmesi halinde mümkündür. Diğer özelliklerden ödün vermeden lastik gürültüsünü azaltmak, çözüm bekleyen bir problemdir. Bu nedenle, gelecekte taşıt gürültüsünün lastik-yol etkileşiminden kaynaklanan gürültüyle sınırlı olması beklenmektedir.

Bana bu konuda çalışma fırsatı veren ve yardımlarını hiçbir şekilde esirgemeyerek bu çalışmayı gerçekleştirmemi sağlayan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet GÜNEY'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

HAZİRAN 1998

FATİH BAY

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 Gürültü	1
BÖLÜM 2 TAŞIT GÜRÜLTÜSÜ	3
2.1 Taşıtlarda Gürültü Kaynakları	5
2.2 Taşıt Gürültü Kaynaklarının Karşılaştırılması	6
2.3 Lastik Gürültüsünün Önemi	8
BÖLÜM 3 LASTİK GÜRÜLTÜSÜ	9
3.1 Lastik Gürültüsü Oluşum Mekanizmaları	9
3.1.1 Aerodinamik Gürültü	9
3.1.2 Hava Pompalama (Air Pumping) ve Hava Rezonansları (Horn Effect)	9
3.1.3 Lastik Titreşimleri	11
3.1.4 Moment Altında Kayma ve Yapışma	12
3.2 Lastik Gürültüsünü Etkileyen Parametreler ve Lastik Gürültüsünün Azaltılması	13
3.2.1 Lastik Özelliklerinin Etkisi	13
3.2.1.1 Temas yüzeyi profili, taban deseni	13
3.2.1.2 Temas yüzeyi malzemesi	14
3.2.1.3 Lastik yapısı	15
3.2.1.4 Lastik boyutları	17
3.2.2 Yol Kaplamasının Etkisi	18
3.2.2.1 Yüzey pürüzlülüğü - gözeneklilik	18

3.2.2.2 Akustik yutuculuk	22
3.2.2.3 Mekanik empedans (katılık)	24
3.2.3 Aracın Çalışma Şartları (sürüş koşulları)	24
3.2.3.1 Taşıt hızı	24
3.2.3.2 Tekerlek yükü	25
3.2.3.3 Lastik basıncı	25
3.2.3.4 Islaklık	25
3.2.3.5 İvme (tork - teğetsel kuvvet)	27
BÖLÜM 4 GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMÜ	31
4.1 Metotlar, Standartlar ve Yönetmelikler	31
4.1.1 Lastik Gürültüsü Ölçüm Metotları - Genel Bakış	34
4.1.1.1 Serbest-geçiş metodu (coast-by method)	35
4.1.1.2 Römork metodu	35
4.1.1.3 Laboratuvar tambur metodu	35
4.1.1.4 Römorkla serbest-geçiş metodu	36
4.2 Lastik Gürültüsü Ölçümünde Karşılaşılan Zorluklar	36
4.2.1 Motor çalışır veya kapalı	36
4.2.2 Taşıtın Etkisi	37
4.2.3 Yük	38
4.2.4 Hız	38
4.2.5 Fon Gürültüsü	40
4.2.6 Ses Yayılımı ve Yansımalar	41
4.2.7 Rüzgar	42
4.2.8 Sıcaklık	43
4.2.9 İklim	44
4.2.10 Yön	44
4.2.11 Mikrofon Konumu	44
4.2.11.1 Yakın mesafe - uzak mesafe	44
4.2.11.2 Römork metodunda mikrofon konumu	45
4.2.11.3 Mikrofon yüksekliği	46
4.2.11.4 Mikrofonun kaynağa uzaklığı	46
4.3 Ölçüm Metotlarının Değerlendirilmesi ve Karşılaştırılmaları	47
4.3.1 Amaçlar ve Gereksinimler	47
4.3.2 Serbest-geçiş metodu (coast-by method)	48
4.3.3 Laboratuvar tambur metodu	49
4.3.4 Römork metodu	50
4.3.5 Römorkla serbest-geçiş metodu	51
4.3.6 Metotlar arasında dönüşüm ve ilişkiler	53
4.3.6.1 Yakın mesafe ses şiddeti seviyesi - serbest-geçiş ses basınç seviyesi ilişkisi	55
4.3.6.2 İvmeli geçiş (pass-by) gürültü seviyesi içindeki lastik-yol gürültüsü miktarı	59
4.3.7 Referans yol kaplaması	60
4.3.8 Lastik gürültüsünün laboratuvar şartlarında ölçümü	64
4.3.9 Ses Şiddeti Ölçüm Metodu	68

BÖLÜM 5 DENEYSEL ÇALIŞMA	69
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	79
EKLER	81
Ek A Deney düzeneğinin fotoğrafları	81
ÖZGEÇMİŞ	84



SEMBOL LİSTESİ

a	: İvme	m/s²
A	: Taşıt, lastik ve yol kaplaması özelliklerine bağlı sabit	
B	: Taşıt, lastik ve yol kaplaması özelliklerine bağlı sabit	
D	: Lastik genişliği	m
L_A	: A ağırlıklı gürültü seviyesi	dB(A)
L_{A,max}	: A ağırlıklı maksimum gürültü seviyesi	dB(A)
U	: Lastik çevresi	m
V	: ilk hız	m/s

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 Gürültü kirliliğinin kaynaklarına göre dağılımı, Viyana 1991	2
Şekil 2.1 Orta büyüklükteki bir otomobil için, taşıt hızı ve vites kademesine bağlı olarak sabit hız gürültü seviyeleri	4
Şekil 2.2 Farklı taşıt sınıfları için genelleştirilmiş gürültü seviyesi-hız ilişkisi	4
Şekil 2.3 Taşıtlarda gürültü kaynakları	7
Şekil 3.1 Lastik-yol gürültüsü mekanizmalarının etkili oldukları bölgeler	10
Şekil 3.2 Lastik üzerinde ses şiddeti dağılımı (450 Hz frekans değeri için)	12
Şekil 3.3 Diyagonal kanalların açısının gürültü seviyesine etkisi	13
Şekil 3.4 Farklı temas yüzeyi sertliğine sahip iki lastiğin gürültü seviyelerinin hıza bağlı olarak karşılaştırılmaları	15
Şekil 3.5 Farklı karkas yapısına sahip 3 test lastiğinin kesitleri ve gürültü seviyelerinin hıza bağlı olarak karşılaştırılmaları	16
Şekil 3.6 Bir iç tamburda ölçülen ses şiddetinin lastik çevresi ve genişliğine bağlılığı	17
Şekil 3.7 Yolcu taşıtlarının, çeşitli gözenekli yol kaplamaları (no 1-3 ve 6-9) ve iki adet gözeneksiz yol kaplaması (4 ve 5) üzerindeki lastik-yol gürültü seviyeleri	19
Şekil 3.8 Gözeneksiz yol kaplaması (4) ile karşılaştırmalı olarak, gözenekli yol kaplamaları (yüzey (1), (2) ve (3)) üzerindeki lastik-yol gürültülerinin, A-ağırlıklı 1/3 oktav bant frekans spektrumları. (4) no'lu kaplamanın gürültü seviyesi 0 dB(A) olarak alınmıştır.	21
Şekil 3.9 (3) no'lu yüzey için akustik yutuculuk katsayısının frekansa bağlı değişimi	21
Şekil 3.10 Profilli ve profilsiz lastiklerin iki farklı yüzeydeki etkileri	22
Şekil 3.11 Farklı yüzey kaplamaları üzerinde dik geliş için akustik yutuculuk katsayıları	23

Şekil 3.12	Ses basınç seviyesi - hız ilişkisi	25
Şekil 3.13	Kuru ve ıslak asfalt üzerinde 96 km/h hızda yuvarlanan çekiş lastikleri için dar bant frekans analizleri	26
Şekil 3.14	Dört değişik lastik için kuru yolda ve bunlardan biri için farklı su yüksekliklerindeki ses seviyeleri	26
Şekil 3.15	(a) 55.5 km/h sabit hızda ve (b) ikinci viteste tam yük uygulanmış durumda, taşıt s = 5 m mesafedeyken ölçülen frekans spektrumları (ISO referans yol kaplaması üzerinde)	28
Şekil 3.16	56 km/h hızdan ivmelenen bir taşıtın lastiği için, yakın mesafede ölçülen ses şiddeti seviyeleri	30
Şekil 3.17	56 km/h hızda temas yüzeyinin ön ve arka kısımlarında, ivmelenme oranının sınır değerlerinde, tüm lastikler için ölçülen yakın mesafe ses şiddeti seviyelerinin karşılaştırılmaları	30
Şekil 4.1	SAE J57 test parkuru (Bölüm B için)	33
Şekil 4.2	Serbest-geçiş metodu (mikrofon, yol merkezinden 7.5 m mesafede)	34
Şekil 4.3	Otomobil lastikleri için römork düzeneği. Test lastiği muhafazanın içinde bulunmaktadır	34
Şekil 4.4	Şekil 4.2'deki düzeneğin içten görünüşü. İki adet mikrofon simetrik olarak, yuvarlanma yönüyle 135° açıda yerleştirilmiştir	34
Şekil 4.5	Kamyon lastikleri için kullanılan römork düzeneği. Lastiklerin çevresinde muhafaza bulunmamaktadır	34
Şekil 4.6	Laboratuvar tambur metodu	34
Şekil 4.7	Römorkla serbest-geçiş metodu	34
Şekil 4.8	Farklı iki hızda ölçülen gürültü seviyelerinin karşılaştırılması (her nokta farklı bir lastiği göstermektedir)	39
Şekil 4.9	Römorkla serbest-geçiş metodunda çekici araç, römork ve her ikisinin toplam gürültü seviyelerinin konuma bağlı değişimleri	41
Şekil 4.10	Tambur üzerinde ısınma sürecinde gürültü spektrumu değişimi (70 km/h)	43
Şekil 4.11	Laboratuvar tambur metodu ve serbest-geçiş metoduyla, belli bir sayıda lastik için çeşitli hızlarda elde edilen ölçüm değerleri arasındaki dönüşüm katsayıları	54

Şekil 4.12	Aynı lastik için üç farklı metotla elde edilen frekans spektrumlarının karşılaştırılmaları	54
Şekil 4.13	56 & 80 km/h hızlarda, yakın mesafe ses şiddeti ve serbest-geçiş ses basınç seviyelerinin karşılaştırılması	56
Şekil 4.14	Yakın mesafe ve serbest-geçiş ölçümlerine göre, lastik-yol gürültü seviyelerinin 56 ve 80 km/h hızlarda karşılaştırılmalı sıralanmaları	57
Şekil 4.15	Çok sayıda yakın mesafe ve serbest-geçiş testi için, 1/3 oktav bant seviyelerinin ortalama değişkenlik miktarları	58
Şekil 4.16	56 km/h hızda tork uygulanan ve uygulanmayan lastikler için yakın mesafede ölçülen ses şiddeti seviyelerinin ortalamaları ve bu lastik gürültü seviyelerinin ivmeli geçiş seviyesi içindeki miktarları	60
Şekil 4.17	ISO ve GRB yüzeyleri üzerinde oluşan lastik gürültüsü seviyelerinin karşılaştırılmaları	61
Şekil 4.18	Profilsiz bir lastiğin ISO ve GRB yüzeyleri üzerindeki frekans spektrumları	63
Şekil 4.19	Aşırı profilli bir lastiğin ISO ve GRB yüzeyleri üzerindeki frekans spektrumları	63
Şekil 4.20	Test lastiklerinin statik izleri	65
Şekil 4.21	Akustik ses şiddeti ölçüm noktaları	65
Şekil 4.22	Yüzey eğriliğinin toplam ses şiddeti seviyesi üzerindeki etkisi; dört farklı lastik için (80 km/h, 4670 N, 220 kPa)	66
Şekil 4.23	Yüzey dokusunun toplam ses şiddeti seviyesi üzerindeki etkisi; 1.7 m çaplı tambur üzerinde dört farklı lastik için (80 km/h, 4670 N, 220 kPa)	66
Şekil 4.24	Hızın toplam ses şiddeti seviyesi üzerindeki etkisi; 1.7 m çaplı tambur üzerinde üç farklı yüzey dokusu için (Lastik A, 4670 N, 220 kPa)	67
Şekil 5.1	Farklı yükler için konumun etkisi	70
Şekil 5.2	Farklı konumlar için yükün etkisi	71
Şekil 5.3	Lastik-zemin temas yüzeyinin ön, yan ve arka kısımlarında 30 cm mesafede, ve boş tambur üzerinde ölçülen 1 oktav bant frekans analizlerinin karşılaştırılması (50 km/h, 3000 N)	73

Şekil 5.4	Lastik-zemin temas yüzeyinin ön, yan ve arka kısımlarında 1 m mesafede ölçülen frekans analizleri (50 km/h, 3000 N). Boş tambur gürültüsü için düzeltme yapılmıştır.	74
Şekil 5.5	Gürültü seviyesinin yöne göre değişimi ($v = 50$ km/h, $F = 3000$ N, $d=1$ m, $h=10$ cm). Parantez içindeki değerler, aynı hızda boş tambura ait gürültü seviyeleridir.	76
Şekil A.1	Test lastiği ve ölçüm cihazı - I	79
Şekil A.2	Test lastiği ve ölçüm cihazı - II	80
Şekil A.3	Test düzeneği ve ölçüm alınması - I	80
Şekil A.4	Test düzeneği ve ölçüm alınması - II	81



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Ortalama gürültü seviyeleri (tır çekicisi için), (7.5 m mesafede, dB(A))	7
Tablo 2.2 Ortalama gürültü seviyeleri (otomobil için), (7.5 m mesafede, dB(A))	7
Tablo 3.1 Testlerde kullanılan yüzey kaplamalarının özellikleri	19
Tablo 3.2 Tüm yüzeyler için gürültü seviyesinin hıza bağlı değişimi ve 4 no'lu referans yüzeyle karşılaştırmalı gürültü seviyesi azalma miktarları	10
Tablo 3.3 İvmelenme ölçümlerinde kullanılan test lastikleri	29
Tablo 4.1 Test planı özeti	64

ÖZET

Yüksek hızlarda seyreden motorlu taşıtlarda lastik-yol gürültüsü, toplam taşıt gürültüsü içinde en büyük etkiyi oluşturmaktadır. Ancak bu gürültünün incelenmesi ve kontrol edilmesine yönelik çalışmaların azlığı ve bir ölçüde çelişkiler içermeleri sebebiyle, literatürde bir boşluk bulunmaktadır.

Lastikle yol kaplaması arasında oldukça karmaşık bir ilişki vardır ve lastik-yol gürültüsü çeşitli mekanizmalar sonucunda ortaya çıkmaktadır. Ancak, lastik-yol gürültüsü temel olarak lastik yanak titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. Profiller arasında bulunan havanın sıkışmasıyla temas yüzeyinde oluşan hava hareketleri (Hava Pompalama - Air Pumping) ve temas yüzeyinin ön ve arka kısımlarında oluşan hava rezonansları (Horn Effect) da gürültü oluşumunda etkili olan mekanizmalardır.

Lastik-yol gürültüsü seviyesi taşıtın çalışma şartlarından, lastik özelliklerinden ve yol kaplaması özelliklerinden etkilenmektedir. Lastik özelliklerine bağlı olarak, taban desenini geliştirmek, lastik malzemesinin sertliğini azaltmak ve lastik karkasının katılığını arttırmak, oluşan gürültünün seviyesini azaltacaktır. Fakat tüm bu değişiklikler lastiğin performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Lastik-yol gürültü emisyonu yol kaplamasının gözeneklilik miktarı ve akustik yutuculuk özelliklerine bağlı olarak da azaltılabilmektedir. Genel olarak, gözenekli ve pürüzlü yüzeyler düzgün yüzeylere göre daha sessiz olmaktadır ve yol tutuş özellikleri de daha iyidir. Yol kaplamasında yapılacak geliştirmelerle, gürültü seviyesinde daha büyük iyileştirmeler sağlanabilir.

Taşıtın çalışma şartlarına bağlı olarak ise, taşıt hızının artması ve tekerleklerle tahrik veya fren momenti uygulanması, lastik-yol gürültüsünün artmasına neden olmaktadır.

Lastik-yol gürültüsü ölçümünde kullanılan metotlar genel olarak Serbest-geçiş metodu, Laboratuvar tambur metodu, Römork metodu ve Römorkla serbest-geçiş metodudur. Tüm bu metotların kendilerine özgü olumlu ve olumsuz özellikleri mevcuttur. Uygulanacak metot belirlenirken, bu özellikler yapılan çalışmanın amacına bağlı olarak değerlendirilmelidir.

Tek başına lastik-yol gürültüsünü kontrol eden ve sınırlayan mevcut bir yönetmelik yoktur. Lastik-yol gürültüsü ölçümünü tarifleyen uluslararası standartlar ise Amerika için SAE J57 ve Avrupa için 92/23/EEC ile sınırlıdır.

SUMMARY

TIRE-ROAD NOISE

Road traffic noise originates not only in the power units of vehicles, including engine, exhaust, air intake and transmission, but also in the interaction between tires and the road surface, so-called tire-road noise. Tire-road noise generally dominates over the other sources altogether above about 100 km/h for all vehicles and about 60 km/hr for modern small cars. On wet roads, speeds can be much lower to give the same degree of tire noise. Since the noise from the power unit (power-train noise) is subject to regulations with increasingly tighter limits, tire-road noise will become even more important in the near future on a relative basis.

Tire-road noise is emitted both into vehicle cabin, i.e. interior tire-road noise, and to the roadside environment - exterior tire-road noise. The interior part is a very important sales argument; thus it is handled efficiently by the tire and vehicle industry in order to obtain the best balance between the various performance aspects, including the acoustical environment. However, no specific demands have been formulated on exterior tire-road noise - either from customers, public or authorities.

Figure 2.3 illustrates the location of the various sources of noise for a typical diesel engine goods vehicle tractor unit and Table 2.1 gives an example of the relative magnitude of the noise from the separate sources for a vehicle of this type operating in top gear at a steady speed of approximately 50 km/h. A similar distribution for a passenger car is given in Table 2.2. When assembled into a complex vehicle, the rank order of these sources and the combined noise level can change due to the screening effects of the vehicle body and reflections from the road surface.

Several possible sources of tire noise have been reported by the workers in this field. These include aerodynamic noise from the rotation of the wheel and tire, noise from the vibration of the tire surface, and pressure fluctuations caused by pumping of air in the tread grooves in the contact patch. The dominant noise generation mechanism of cross bar tires is the sidewall resonance with the tread vibration caused by the collision between the lug blocks and the road.

In general, variations in tread pattern have small effects on the overall levels of tire noise. However, tires with regular transverse features are systematically noisier than tires with predominantly circumferential patterns. As the angle between the displacement direction of the tire and the diagonal grooves decrease, tire noise level also decreases. Reducing the hardness of tread rubber and increasing the stiffness of tire carcass also lowers tire-road noise emission (Figures 3.4, 3.5).

The principal road surface characteristics that effect tire noise generation are surface pattern and the acoustical absorption characteristics of the surface material. Porous or pervious surfaces are known to suppress the air pumping component of rolling noise. Also their acoustical absorption characteristics are quite good when compared with the conventional dense surfaces. As a result, tire-road noise on this kind of porous surfaces are found to be lower. But the main beneficial effect of these surfaces arise on traffic noise for free flowing traffic at high speed and they perform poorly at low speeds. the reason for this is the effect of texture on the generation of rolling noise. Similar to dense surfaces also with porous surfaces the unevenness of the road surface induces vibration of the tire carcass and the tread system, which are radiated as noise.

The peak noise in dB(A) of a coasting vehicle measured at 7.5 m along the normal to the centreline of the vehicle path is related to the vehicle speed by an equation of the form:

$$L_{A,max} = A + B \text{ Log}_{10} V \quad (3.2)$$

where $L_{A,max}$ is the peak noise level, V is the vehicle speed (km/h), and A and B are constants depending on the tire characteristics and surface texture. In accelerating condition, tire noise emission increases as torque is applied to the wheels.

There are no present regulations on noise emission from tires of vehicles. The two only available international standards describing the measurement of tire noise are SAE J57 (Figure 4.1) and 92/23/EEC.

The four methods being used for the measurement of tire-road noise level are coast-by method, trailer method, laboratory drum method and trailer coast-by method (Figures 4.2-4.7).

In coast-by method, a test vehicle equipped with test tires is rolling with the engine switched-off (coasting-by) past a road-side located microphone. The microphone is 7.5 m from the centre of the test track or road lane on which the vehicle coasts. The maximum noise level (A-weighted) is recorded when the vehicle coasts by, usually with FAST time constant. It is also common to make a recording of the frequency spectrum at the moment of peak A-weighted noise. The method is often used to classify both the road surface and the tire influence on noise.

Trailer method requires fewer test tires than the previous method and is not very sensitive to noise from traffic. The test tire is mounted on a trailer which is towed by a vehicle. Close to the test tire, generally within 0.1-0.5 m, one or more microphones are located. The noise level is measured as an average over a certain time interval, generally 4-60 s. Most trailers have an enclosure around the microphone and test tire in order to provide screening from wind and traffic noise. Some trailers may utilize more than one test tire.

Laboratory drum method makes use of a drum facility (drum diameters of 1.5-2.5 m are the most common). A test tire is mounted so that it can roll against the drum and one or more microphones is (are) mounted close to the test tire - in principle

with similar positions as in the trailer method. Special care must be observed regarding the acoustical environment. It is absolutely necessary to have the drum equipped with a surface which resembles that of a actual road. This can be achieved by fitting a moulded replica of a road surface onto the drum in segments.

Trailer coast-by method is a combination of the coast-by and trailer methods. A trailer is towed by a vehicle along a test track and the microphones are located as in the coast by method. However, the noise to be recorded is the noise when the trailer is passing, i.e. the noise must not be recorded at the moment when the tow vehicle is closest to the microphone. The problem of separating out the noise emitted by the trailer from that of the tow vehicle can be relaxed if the drawbar is very long and the tow vehicle is equipped with the most quiet tires available and also with screens over the tires. It may also be necessary to make special measurements of noise from the tow vehicle alone and correct for this noise in some way.

It may be claimed that the best way to control vehicle noise at high speeds is to introduce a high speed pass-by test. But a constant-speed test like that is not so easy to make reproducible in practice, since when aiming at a certain speed the driver might want to adjust the throttle opening more or less. In this way, one does not really know how much the engine was loaded at the moment when maximum noise was recorded. It seems better to separate power-train and tire-road noise measurements. This would have the advantage of separating the responsibilities of vehicle and tire manufacturers.

If one would test the same tire on different vehicles, one would probably not get fully identical results because of vehicle influence. Vehicles may influence tire noise in these ways: screening by or reflections against body parts, poor wheel alignment, brakes not fully released, air turbulence noise, disturbance from power train noise, rattling of loose parts, noisy suspension springs, influence on tire dynamics by extremely soft or stiff suspension different tire loads, and disturbing bearing noise. The level of the influence of different vehicles is found to be limited to maximum 1 dB(A) at 70-90 km/h.

Vehicle influence would, naturally, be highest with the coast-by method, lower with the trailer coast-by method and lowest with the trailer and drum methods.

Fortunately, tire load has not been found to influence noise very much. However, the tire width turned out to be the important parameter and the width of course is related to the weight of the vehicles, since wider tires are used for carrying higher loads.

Tire-road noise increases with speed by 9-10 dB(A) per doubling of speed. Thus, double speed means approximately double subjective impression of the noise.

For reducing the background noise influence, one should go as close to the test tires as practical with the microphone. Of the two main options, a microphone distance of 7.5 or 15 m (used in Europe and USA respectively), the former is preferable from this point of view.

There are two really serious problems with background noise, both of them connected with trailers. Firstly, in trailer method, many disturbing noises may seriously limit such measurements. Most measurements are feasible if one excludes the lowest frequencies. The other serious problem is for the trailer coast-by method, in which it is necessary to limit the influence of the tow vehicle noise emission. The most obvious and simple way to correct for this noise is to make separate runs for the articulated tow and trailer vehicle and for the tow vehicle alone, note the maximum noise levels and subtract the tow vehicle maximum noise level from that of the combined tow/trailer vehicle (Figure 4.9).

Test surface porosity might cause a sound absorption effect. Therefore, it is essential to make sure that the surface air voids content does not exceed 8 % and/or that the sound absorption coefficient over the interesting frequency range does not exceed 10 % (according to ISO 10844). Slightly higher absorption values may influence the sound propagation, even if such absorption occurs only outside the wheel tracks, between the test lane and the microphone.

A special problem is the influence of sound propagation when using the trailer method with a near-field measuring point. Here the problem is the reverse: A sufficient absorption effect is not measured.

It has been found that a limit of maximum 5 m/s is suitable for the wind speed. At higher wind speeds, the propagation can be affected but, moreover, there will be low-frequency noise in the microphone induced by the air turbulence. For temperature effect, an influence of around 1 dB(A) per 10°C has been recorded (noise decreases with increasing temperature).

Tire-road noise emission is often clearly directional. Most commonly, noise emission is stronger in the directions towards the front and rear of the tires. To at least some extent this can be explained by the so-called horn effect.

When the available methods are generally reviewed, coast-by method appears as the one which is the most representative of actual traffic. This method gives fair and accurate results. Its harmonisation with related methods is maximum and works equally well for automobile and truck tires.

Advantages with the coast-by method are that it is not “traditional”, it is not complicated as it requires no extra equipment. A disadvantage is that the method is influenced by test vehicle type and condition. Also, it requires more tires than the others, which means more labour with balancing and exchanging tires. On the plus side, however, the use of a number of tires will automatically give an average over more than one tire sample and directional effects will be somewhat averaged.

As an indoor method, drum method has the major advantage of being independent of climate and weather conditions. However, the method is not representative of the actual traffic. Firstly, noise is measured in the near-field, not in the far field where a listener would be. Secondly, the drum is curved, but this effect is relatively unimportant. Thirdly, it is necessary that the drum be equipped with a replica road surface.

Tire ranking with this method is less fair than with the coast-by method. However, the method will give very accurate and repeatable results. Harmonisation with other methods is very poor, but it is very suitable for research purposes.

The main disadvantages with the trailer method are its lack of representativity and the background noise problem. Regarding accuracy, it is almost as good as the drum method. Harmonisation with other methods is very poor (except with the drum method) and requires expensive equipment. However, tire testing with this method is very fast and efficient.

Representativity of the trailer coast-by method is somewhat poorer than for the coast-by method but absolutely better than for the drum or trailer methods. This method is less influenced by test vehicle characteristics and condition. Tire ranking will be less fair and accurate than for the coast by method. Repeatability and reproducibility will be poorer due to tow vehicle noise.

Tire noise can be reduced from present-generation levels but only at the expense of safety. It appears likely, therefore, that the noise from future vehicles will be limited by the noise generated by the tire-road surface interaction. Further improvements in tyre-road noise are more likely to arise from improvements in the design of the road surface.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 GÜRÜLTÜ

Nüfus yoğunluğu yüksek günümüz endüstriyel toplumlarında gürültü kirliliği büyük bir problem teşkil etmektedir. Bu toplumlarda, ulaşımın taşıdığı önem sebebiyle trafik gürültüsü ve bunun içinde de özellikle karayolu gürültüsü, en başta gelen gürültü kaynağıdır (Şekil 1.1).

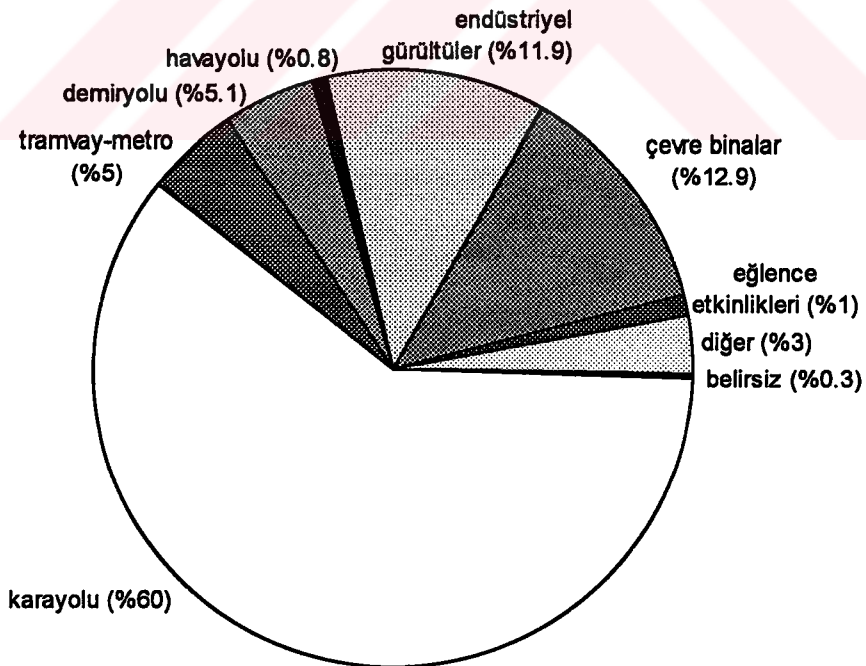
Taşıdığı bu büyük önem sebebiyle taşıt gürültüsüyle ilgili çeşitli gürültü ölçüm standartları ve yönetmelikleri uygulamaya konulmuş, çeşitli sınır gürültü seviyeleri belirlenerek bu değerlerin aşılması yasaklanmıştır. Taşıt üreticileri de, hem gün geçtikçe daralan bu sınır seviyelerin altında kalabilmek, hem de markalar arası rekabetin büyük önem taşıdığı pazarda pay sahibi olabilmek için, ürettikleri taşıtların iç ve dış gürültü seviyelerini aşağıya çekmeye yönelik bir araştırma-geliştirme yarışına girmişlerdir.

Uzun yıllardır sürdürülen bu kapsamlı çalışmalar sonucunda büyük ilerlemeler katedilerek taşıt gürültülerinde çok belirgin iyileştirmeler sağlanmıştır. Fakat bu çalışmalarda, toplam taşıt gürültüsü içinde ilk başlarda daha fazla etkiye sahip olan motor, aktarma organları ve diğer mekanik kısımların gürültüleri üzerinde yoğunlaşmış, bu kaynakların etkileri azaltıldıkça da lastik gürültüsünün etkisi ön plana çıkmıştır. Ancak, lastik-yol gürültüsünü incelemek ve kontrol etmeğe yönelik olarak yapılmış çalışmalar oldukça azdır ve aralarında çelişkilere rastlanabilmektedir.

Günümüzde, taşıtların şehir içindeki düşük hızda ve ivmeli hareketlerinde motor, aktarma organları ve egzoz sistemi gürültüleri en önemli gürültü kaynaklarını

oluştururken, yüksek hızlı otoyollardaki trafikte lastik-yol etkileşiminden kaynaklanan gürültü en yüksek gürültü emisyonunu oluşturmaktadır. Ancak, mevcut yönetmelikler taşıtların şehir içindeki ivmeli hareketleri sırasında oluşturdukları gürültüyü kontrol etmeye yönelik olarak tasarlanmıştır. Yüksek hızlarda ön plana çıkan lastik-yol gürültüsünü sınırlayan bir yönetmelik ise henüz mevcut değildir. Lastik-yol gürültüsü oldukça önemli bir çevresel problem oluşturduğu için, bu gürültüyü kontrol eden yönetmeliklerin yürürlüğe konması gerekmektedir.

Lastik-yol etkileşimi ve bu etkileşim sonucunda oluşan lastik gürültüsü mekanizmaları oldukça karmaşıktır. Oluşan gürültünün seviyesi ise taşıtın çalışma şartlarının yanı sıra, lastik özelliklerinden ve zemin kaplamasının özelliklerinden çok fazla etkilenmektedir. Bu sebeple, lastik gürültüsünü kontrol etmeye yönelik çalışmalar hem lastik, hem de zemin kaplaması özelliklerini dikkate alarak, lastik-yol etkileşimini incelemelidir. Bunun gerçekleştirilmesi için de lastik üreticileri, ulaştırma mühendisleri ve otomotiv mühendislerinin ortak çalışmalar yürütmeleri uygun olacaktır.



Şekil 1.1 Gürültü kirliliğinin kaynaklarına göre dağılımı, Viyana 1991 [1]

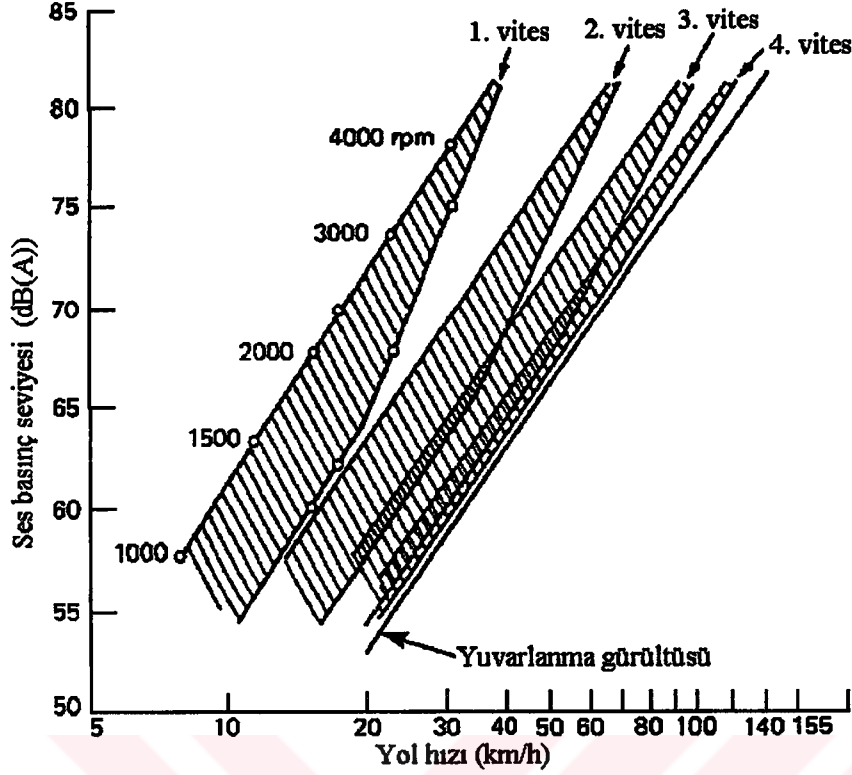
BÖLÜM 2

TAŞIT GÜRÜLTÜSÜ

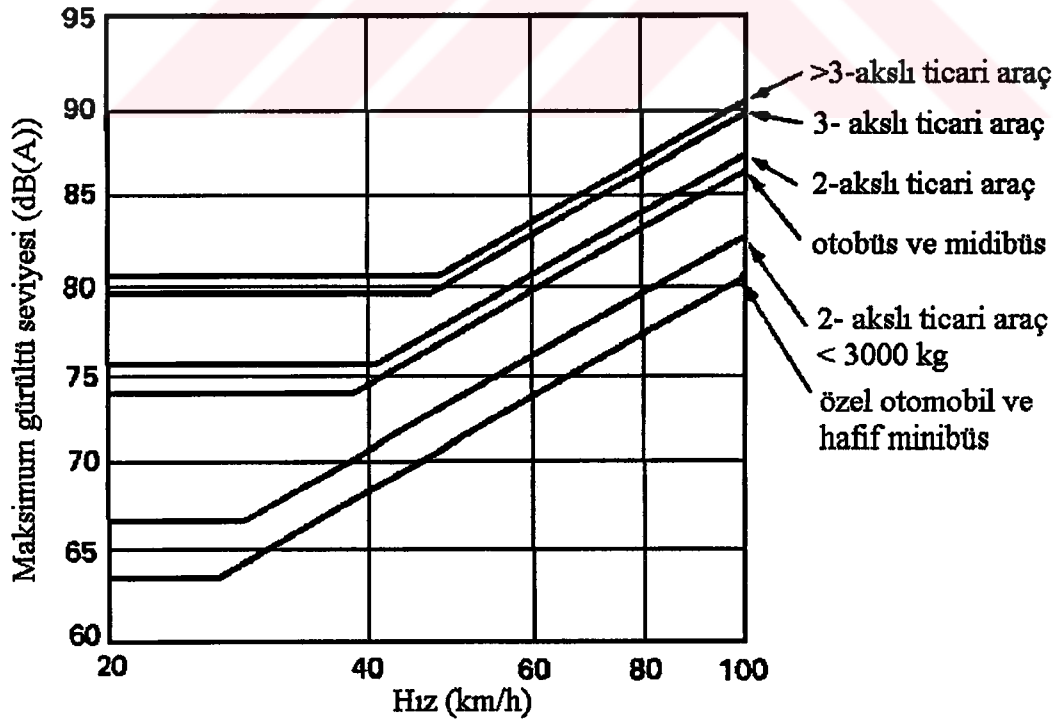
Trafik gürültüsü, motorlu taşıtların tek başlarına oluşturdukları gürültülerin toplamından meydana gelmektedir. En büyük bölümünü otomobillerin oluşturduğu bu taşıtlar, tür ve çalışma şartları açısından oldukça büyük farklılıklar göstermektedirler. Her bir taşıttan kaynaklanan gürültü temel olarak şu özelliklere bağlıdır:

1. aracın türü ve sınıfı (otomobiller, kamyonlar, otobüsler, motorsikletler v.b.),
2. araç tasarımında kullanılmış olan gürültü kontrol önlemlerinin nicelik ve nitelikleri,
3. aracın mekanik durumu (parçaların aşınma miktarları, egzoz susturucusunun durumu, motor ayarları v.b.),
4. aracın çalışma şartları (motor devri, araç hızı, vites seçimi, yük, sabit hız veya hızlanma-yavaşlama, v.b.; bu şartlar trafik planlaması ve sürüş stilinden etkilenmektedirler),
5. yol yüzeyinin durumu,
6. gürültünün yayılmasını etkileyen şartlar (yansıma yapan engeller, perdeleme v.b.) [2].

Şekil 2.1, orta büyüklükteki bir otomobil için, araç hızı ve vites kademesine bağlı olarak sabit hız gürültü seviyesinin alabileceği değerleri göstermektedir. Şekilden açıkça görüldüğü üzere, araç 1. ve 2. viteslerde giderken toplam dış gürültü seviyesi motor devri ile belirlenmekte, vites değişiklikleri gürültü seviyesinde büyük farklılıklara sebep olmaktadır. Araç hızının yüksek olduğu 3. ve 4. viteslerde ise, yol kaplaması üzerinde yuvarlanan lastiklerin sebep olduğu gürültü, toplam gürültü seviyesi üzerinde en önemli etkiye sahiptir ve vites değişikliği gürültü miktarını fazla etkilemez.



Şekil 2.1 Orta büyüklükteki bir otomobil için, taşıt hızı ve vites kademesine bağlı olarak sabit hız gürültü seviyeleri [2]



Şekil 2.2 Farklı taşıt sınıfları için genelleştirilmiş gürültü seviyesi-hız ilişkisi [2]

Lastik gürültüsü lastiğin ve yol kaplamasının tasarımı gibi bir dizi etkene bağlıdır fakat, çalışma aralığı içerisinde araç hızının her iki katına çıkışı için, lastik gürültüsünün yaklaşık olarak 9-10 dB(A) arttığı söylenebilir. Şekil 2.2’de, farklı taşıt sınıfları için genelleştirilmiş gürültü seviyesi-hız ilişkisi verilmiştir. Lastik gürültüsünün belirleyici olduğu 50 km/h’nin üzerindeki hızlarda tüm araç tipleri için, taşıt hızının her iki katına çıkışına karşılık gürültü seviyesi gene yaklaşık 9 dB(A) kadar artmaktadır. Şehir içi trafiğini yansıtan düşük hızlarda ise, aktarma organlarıyla beraber motor en belirleyici gürültü kaynağıdır ve vites değiştirmenin etkisi sonucunda, toplam gürültü seviyesi taşıt hızına hemen hemen hiç bağlı değildir [2].

Taşıt hızı değiştikçe aracın dış gürültü seviyesi, hızın değişme oranına (hızlanma-yavaşlama) ve ilk hıza bağlı olarak değişir. Gürültü seviyesinin değişimini araç hızına ve ivmelenmeye bağlı olarak ifade etmek mümkündür ve bu tipte iki denklem aşağıda verilmektedir. Bu denklemlerde, yüksüz ağırlığı 1525 kg’dan az olanlar hafif, çok olanlar ağır taşıt sınıfına girmektedir:

$$L_A (\text{hafif}) = 33.2 + 23.8 \log_{10} V + 10.6a - 0.08a^2 - 5.73a \log_{10} V \quad (2.1)$$

$$L_A (\text{ağır}) = 48.5 + 18.9 \log_{10} V + 7.5a - 0.11a^2 - 4.29a \log_{10} V \quad (2.2)$$

a = ivmelenme oranı, V = ilk hız [2]

2.1 TAŞITLARDA GÜRÜLTÜ KAYNAKLARI

Hareket halindeki bir taşıtın gürültüsü; güç birimi (motor, emme ve egzoz), soğutucu fan, aktarma organları (dişli kutusu, şaft, diferansiyel, aks), yol gürültüsü (aerodinamik ve lastik-yol kaplaması), frenler, askı düzeni ve gövdeden gelen seslerin toplamından oluşmaktadır.

Bu kaynakların kendi aralarındaki önem dereceleri araç tipine ve çalışma koşullarına bağlıdır. Küçük taşıtlar için küçük vites kademelerinde gidilen düşük hızlarda motor en belirleyici gürültü kaynağıdır; büyük vites kademelerinde gidilen yüksek hızlarda

ise lastik gürültüsü artarak motor ve aktarma organlarının etkisinin üstüne çıkar ve en belirgin gürültü kaynağı haline gelir. Dizel motorlu büyük kamyonlarda ise motor, egzoz ve soğutucu fan gürültüleri çok daha belirgin etkiye sahiptirler ve yüksek hızlarda lastik gürültüsü belli bir etkiye sahip olabilir. Genel olarak, dizel motorlu çok büyük kamyonlar hariç tüm taşıtlarda 100 km/h ve üzerindeki hızlarda lastik-yol gürültüsü en etkin kaynaktır. Modern küçük taşıtlar için bu değer 60 km/h seviyesine kadar düşmektedir [3]. Islak zeminde ise aynı lastik gürültüsü seviyesi daha düşük hızlarda oluşmaktadır.

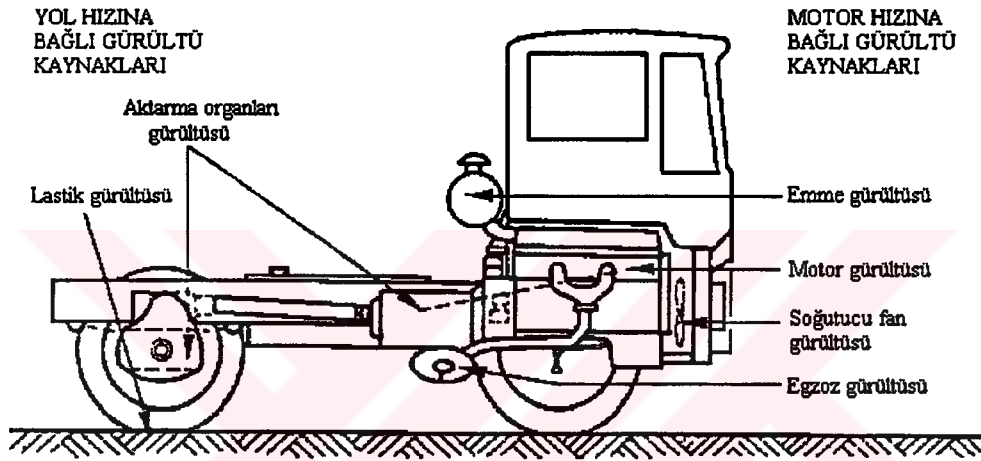
Toplam taşıt gürültüsünü oluşturan farklı kaynakların gürültü seviyeleri logaritmik olarak toplandıklarından, tüm etkin kaynakların en büyük etkisi olandan başlanarak sırayla azaltılmaları gerekmektedir. Örnek olarak, diğer kaynakların etkileri değiştirilmeden sadece egzoz gürültüsünün etkisini yarıya indirmek, toplam taşıt gürültüsü üzerinde çok az veya ihmal edilebilir bir etkiye sahip olacaktır. Bu sebeple taşıt gürültüsünü iyileştirme çalışmalarında tüm etkin kaynaklar beraber dikkate alınmalıdır.

2.2 TAŞIT GÜRÜLTÜ KAYNAKLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Şekil 2.3’de dizel motorlu bir tır çekicisinin gürültü kaynakları görülmektedir. Tablo 2.1’de ise bu tip bir taşıt için ayrı ayrı bu kaynakların her birinin, en büyük viteste ve ortalama 50 km/h sabit hızdaki gürültü seviyeleri verilmiştir. Tablo 2.2’de ise otomobiller için benzer bir karşılaştırma gösterilmektedir.

Bir taşıtta biraraya geldiklerinde bu kaynakların birbirlerine göre oranları ve taşıtın toplam gürültüsü, taşıt gövdesinin perdeleme özelliklerine, izolasyona ve yol kaplamasının yansıtma etkilerine bağlı olarak değişecektir. Bu nedenle Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de, gürültü kaynaklarının logaritmik toplamaları, toplam araç gürültüsünün ölçülen değerinin altında çıkmıştır. Taşıt gövdesinin motor ve aktarma organları gürültülerini büyük ölçüde perdelediği otomobillerde bu farkın daha büyük olduğu görülmektedir.

Lastik gürültüsü, diğer gürültü kaynaklarının aksine, taşıt gövdesi tarafından perdelenmediği için, toplam gürültüye olan etkisi bu tablolarda görülen oranlardan daha fazladır. Ayrıca taşıt hızı arttıkça lastik gürültüsü çok belirgin bir şekilde artmakta ve yüksek hızlarda tüm taşıtlarda en etkin gürültü kaynağı haline gelmektedir.



Şekil 2.3 Taşıtlarda gürültü kaynakları [2]

Tablo 2.1 Ortalama gürültü seviyeleri (tır çekicisi için), (7.5 m mesafede, dB(A))[2]

Egzoz	Motor ve aktarma organları*	Soğutucu fan	Emme	Lastik	Logaritmik Toplam	Ölçülen Toplam
82	90	78	70	70	91	89

*Aktarma organları yaklaşık 70 dB(A).

Tablo 2.2 Ortalama gürültü seviyeleri (otomobil için), (7.5 m mesafede, dB(A)) [2]

Egzoz	Motor ve aktarma organları*	Soğutucu fan	Emme	Lastik	Logaritmik Toplam	Ölçülen Toplam
74	84	65	65	68	85	79

*Aktarma organları yaklaşık 65 dB(A).

2.3 LASTİK GÜRÜLTÜSÜNÜN ÖNEMİ

Yukarıda bahsedildiği üzere, taşıtların motor ve aktarma organları gürültülerinde yapılan iyileştirmeler sonucunda, lastik-yol gürültüsü ön plana çıkmıştır. Günümüzde, taşıtların trafik içindeki hareketleri sırasında çevreye yaydıkları bu lastik-yol gürültüsü önemli bir çevresel problem teşkil etmektedir. Ancak, bu konuda yapılmış olan çalışmaların azlığı ve bir ölçüde çelişkiler içermeleri sebebiyle, literatürde büyük bir boşluk bulunmaktadır.

Lastik-yol gürültüsü taşıtların iç gürültü seviyesi ve sürüş konforu üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Taşıt iç gürültüsü seviyesini temel olarak lastikler, aktarma organları ve süspansiyon sistemi titreşimlerinin ortak etkisi belirlemektedir. Dolayısıyla, iç gürültü seviyesini azaltmak için lastikler, süspansiyon ve aktarma organlarının herbirinin gürültü seviyelerini azaltmanın yanısıra, bu üçünün doğal frekanslarının da farklı aralıklarda bulunmaları sağlanmalıdır [4].

BÖLÜM 3

LASTİK GÜRÜLTÜSÜ

Lastikle yol arasında oldukça karmaşık bir ilişki bulunmaktadır. Lastik gürültüsünün oluşum mekanizmaları ve lastik gürültüsünü etkileyen parametrelerle ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır, fakat bu çalışmalar miktar olarak nispeten azdır ve elde edilen sonuçlar arasında çelişkilere rastlanabilmektedir. Bu sonuçlar genel olarak şu şekildedir:

3.1 LASTİK GÜRÜLTÜSÜ OLUŞUM MEKANİZMALARI

3.1.1 Aerodinamik Gürültü

Bir zemine temas etmeden serbest olarak dönen bir tekerlek bile, çevresinde oluşturduğu türbülanslı hava hareketleri nedeniyle, bir ses kaynağıdır. Fakat taşıt yol hızlarında, tekerlek bölgesindeki bu hava hareketlerinden oluşan aerodinamik gürültü, tamamen ihmal edilebilecek önemsiz bir kaynaktır.

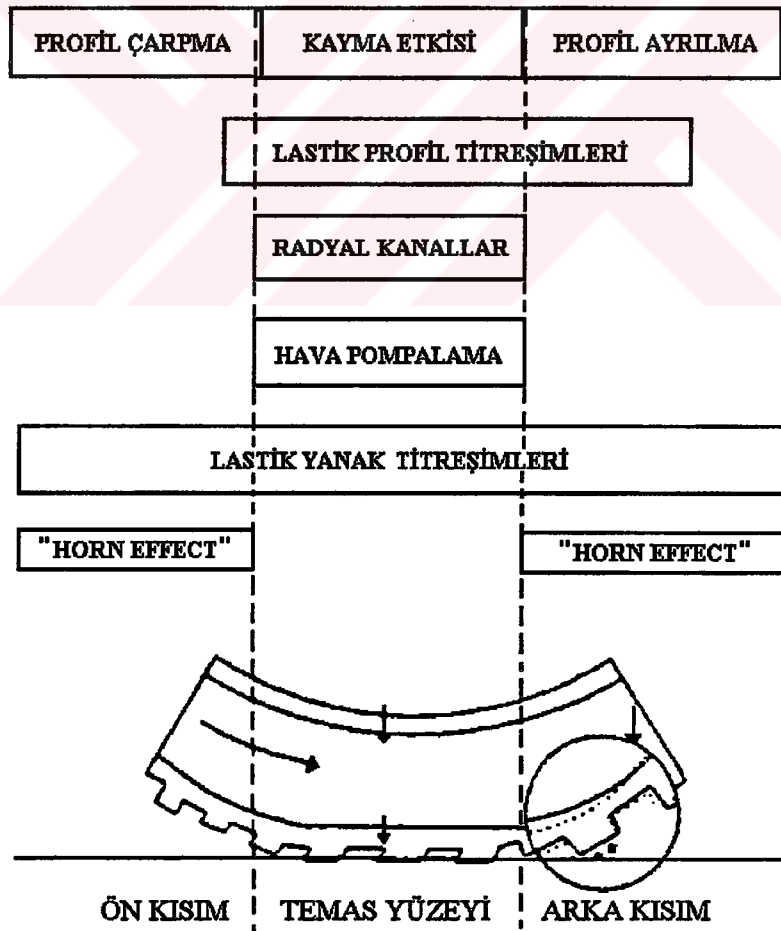
3.1.2 Hava Pompalama (Air Pumping) ve Hava Rezonansları (Horn Effect)

Tekerlek-yol temas yüzeyinde bulunan profil elemanlarının boylarının kısalmasıyla, profiller arasında bulunan hava sıkışmaya uğrar. Sıkışma sonucu bu hava, lastik profilleri arasındaki kanallardan ve yol kaplamasının gözenekleri arasından kaçmaya zorlanır. Profil elemanları temas yüzeyinin arkasında serbest kalırken ise, profil elemanlarının uzunlukları tekrar artmasıyla profiller arasında oluşan vakumun etkisiyle, bu sefer de ters yönde bir hava hareketi oluşur. Profil elemanları arasında oluşan bu hava hareketleri, yüksek frekanslı bir gürültüye sebep olur (>1000 Hz) ve bu olaya Hava Pompalama (Air Pumping) adı verilir. Gözeneksiz yüzeyler üzerinde

ise, profil elemanları arasında bulunan hava sıkışacak ve profil elemanları, temas yüzeyinin arkasında serbest kalırken bu hava bir anda serbest kalacaktır. Bu durumda oluşan gürültünün seviyesi daha yüksek olacaktır.

Havanın pompalanması sonucu oluşan bu gürültü profillerin cinsine, geometrik düzenlenmelerine ve yol kaplamasının özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır.

Lastik gürültüsü oluşumundaki bir diğer etken de, temas yüzeyinin ön ve arka kısımlarında, yol yüzeyiyle eğri lastik yüzeyi arasında bulunan havada oluşan rezonanslardır. Bu hava rezonansları, oluşan gürültünün artmasına neden olur. "Horn Effect" olarak adlandırılan bu etkinin en belirgin olduğu bölge 700 - 1000 Hz aralığıdır. Akustik yutuculuğu yüksek olan yüzey kaplamaları bu etkiyi azaltmaktadırlar [3,5].



Şekil 3.1 Lastik-yol gürültüsü mekanizmalarının etkili oldukları bölgeler [5]

Hava Pompalama olayının, lastik gürültüsünün temel bir sebebi olabileceği öne sürülmüştür. Bu hipotezi test etmek için lastik profilleri arasındaki boşluklar hava girişini önleyecek akustik yalıtkan bir malzemeyle doldurulmuş, hem yalıtkan malzemeli hem de yalıtkan malzemesiz lastiklerin gürültü değerleri ölçülerek karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yalıtkan malzeme eklemenin gürültü seviyesi üzerindeki etkisinin 1 dB(A)'den az olduğu görülmüştür [2]. Ayrıca düzgün yüzey üzerinde yuvarlanan profilsiz -yani hava boşluğu bulunmayan- lastikler için gürültü seviyeleri çok büyük bir düşüş göstermediğinden, Hava Pompalama olayının lastik gürültüsünün temel sebeplerinden biri olamayacağı sonucuna varılmıştır. Fakat yine de, bu alandaki çalışmacıların bazıları Hava Pompalama teorisini desteklemektedirler [2].

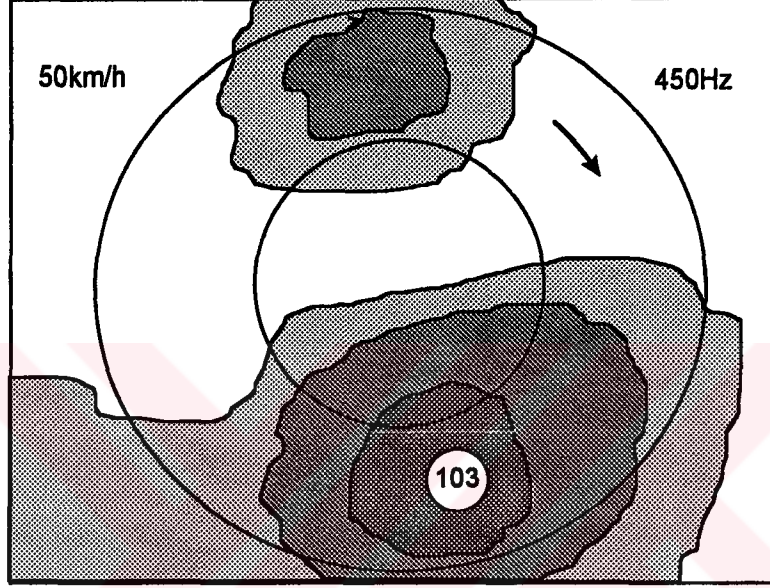
3.1.3 Lastik Titreşimleri

Lastik profilleriyle yol yüzeyinin çarpışmaları ve yol kaplamasının pürüzlülüğü, lastik profillerinin titreşmesine neden olur. Ayrıca, tekerlek temas yüzeyinden çıkarak serbest kalan ve artık yük taşımayan lastik profil elemanları da titreşime maruz kalırlar. Profil elemanlarının bu titreşimleri, belli bir gürültü oluşmasına neden olur. Ancak bu titreşimlerin asıl etkisi lastik yanaklarında oluşmaktadır. Bu titreşimler lastik yanaklarına iletildiklerinde, en etkili bölgesi 400-1000 Hz civarında olan bir gürültü oluşmasına neden olurlar. Lastik yanaklarının bu titreşimleri, lastik-yol gürültüsünün ana kaynağı olarak kabul edilmektedir.

Şekil 3.2'de, 50 km/h hızda tekerlek yüzeyinden 150 mm uzaklıktaki düzlem üzerinde ölçülen gürültü seviyeleri sonucu elde edilen ses şiddeti dağılımı gösterilmiştir [6]. Şekilden görüldüğü üzere, gürültünün kaynaklandığı bölge lastik temas yüzeyi değil, yükün tam altındaki lastik yanakları civarındadır.

Lastik titreşimleri sonucu oluşan bu gürültü lastik profil elemanlarının uzunluğuna, sertliğine, lastiğin yapısına, profil desenine ve yol kaplamasının yapısına bağlıdır. Profil elemanlarını farklı büyüklüklerde yaparak ve düzensiz olarak yerleştirerek,

oluşan titreşimlerin daha geniş bir frekans aralığına yayılması ve gürültü seviyesinin azaltılması sağlanabilir. Profil elemanlarının boyuna yerleştirilmeleri ve sertliklerinin azaltılması da titreşim oluşumunu azaltacaktır. Ayrıca, lastik yanaklarının katılığını arttırmak da lastik yanaklarının titreşimini engelleyerek gürültü oluşumunu azaltacaktır. İleriki bölümlerde bu konulardan daha detaylı olarak bahsedilmektedir.



Şekil 3.2 Lastik üzerinde ses şiddeti dağılımı (450 Hz frekans değeri için) [6]

Eğer lastik sırt yüzeyinde çevresel düz kanallar bulunuyorsa, bu kanalların temas yüzeyinde bulunan kısımları (organ pipes), oluşan gürültüyü artırıcı etkiye bulunabilir. Profil elemanlarının titreşimleriyle oluşan gürültünün frekansı, elemanların boyutuna ve lastik dönüş hızına bağlıdır. Temas yüzeyindeki bu kanalların frekansı ise temas yüzeyi uzunluğuna bağlıdır ve profil elemanlarının frekansıyla çakıştığı durumlarda, gürültü seviyesinde belirgin bir artış oluşacaktır [5].

3.1.4 Moment Altında Kayma ve Yapışma

Tekerleğe uygulanan tahrik ve fren momentleri, temas yüzeyinde kayma oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum da, lastik-yol gürültüsünü büyük ölçüde arttırmaktadır.

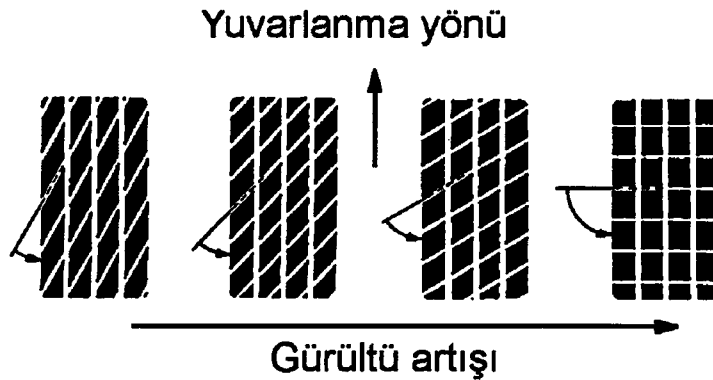
3.2 LASTİK GÜRÜLTÜSÜ ETKİLEYEN PARAMETRELER VE LASTİK GÜRÜLTÜSÜNÜN AZALTILMASI

Lastik gürültüsünü etkileyen parametreler Lastik Özellikleri, Yol Kaplaması ve Çalışma Şartları olarak üç başlık altında toplanabilir.

3.2.1 Lastik Özelliklerinin Etkisi

3.2.1.1 Temas yüzeyi profili, taban deseni : Temas yüzeyi profili, lastik özellikleri içerisinde, gürültü seviyesi üzerindeki en önemli etkiye sahiptir. Lastik profil yivlerinin genişlik, derinlik ve uzunlukları küçüldükçe, lastik gürültü seviyesi belirgin şekilde azalmaktadır. Fakat bu değerler yol tutuş, çekiş, ıslak zemin, aquaplaning ve kış şartları özellikleri gibi lastiğin diğer özelliklerini de etkilemektedirler ve lastiğin gürültü seviyesi, diğer özellikler ile çelişmektedir. Lastik performansı ve güvenlik şartları gözardı edilemeyeceğinden, gürültü seviyesini azaltmak için temas yüzeyi profilinde fazla değişiklik yapmak mümkün olmamaktadır.

Profilsiz lastikler, profilli olanlara kıyasla 5-7 dB(A) kadar daha düşük gürültü seviyesine sahiptirler [7]. Ancak ıslak zeminde yol tutuş özellikleri çok zayıf olduğundan kullanımları mümkün değildir.



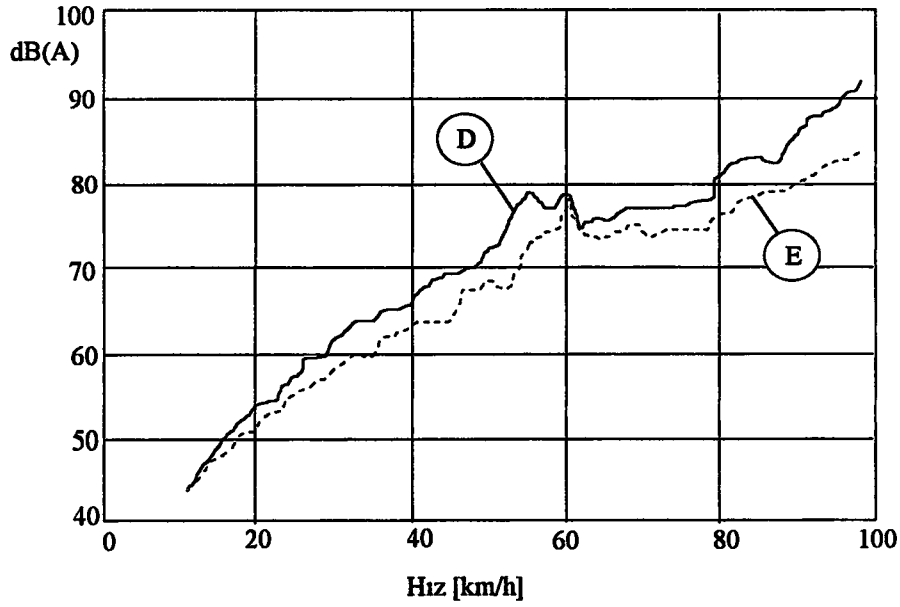
Şekil 3.3 Diagonal kanalların açısının gürültü seviyesine etkisi [8,9]

Lastik hareket yönü ile diyagonal kanallar arasındaki açı küçüldükçe gürültü seviyesi azalmaktadır (Şekil 3.3). Bunun sebebi, açı küçüldükçe profil elemanlarının yol kaplamasıyla yavaş yavaş temas haline geçmeleridir. Açının büyük olması durumunda ise temas bir anda olmakta, bunun sonucunda da profiller daha fazla titreşmektedirler. Ancak bu açının küçük olması halinde, ıslak zeminde, lastik temas yüzeyiyle yol kaplaması arasındaki suyun profil elemanları arasındaki kanallardan yanlara kaçması zorlaşmakta ve lastiğin ıslak zemin yol tutuş özelliği özelliği kötüleşmektedir.

Lastik profil elemanlarının aynı tip ve boyutta olması halinde, profil elemanlarının doğal frekansı ve devir sayısına bağlı olarak rezonanslar oluşmaktadır. Bu durum, gürültü spektrumunun belirli frekanslarda yüksek genlikler göstermesine ve gürültü seviyesinin artmasına neden olmaktadır. Rezonans frekanslarından kaçınmak amacıyla farklı uzunluk ve yapılar da profil elemanları kullanılmalı ve lastik çevresine dağılımları matematiksel ve fiziksel hesap yöntemleriyle tasarlanmalıdır. Böylelikle ses enerjisi mümkün olduğunca geniş bir frekans spektrumuna yayılarak toplam ses seviyesi düşük tutulabilir.

3.2.1.2 Temas yüzeyi malzemesi : Lastik profil elemanları yol kaplamasıyla direkt ve arka arkaya sürekli temas halinde olduklarından, temas yüzeyinde oluşan titreşimlerin büyüklüğü temas yüzeyi malzemesinin sertlik ve elastikiyet gibi özellikleriyle doğrudan ilişkilidir.

Malzeme özelliklerinden biri olan sertlik, lastik gürültüsü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Şekil 3.4'te, farklı temas yüzeyi sertliğine sahip iki lastiğin ses basınç seviyelerinin karşılaştırılmaları verilmiştir. D lastiğinin sertliği 59°, E lastiğinki 40° ve her iki lastiğin elastikiyetleri %52 değerindedir. Şekilden görüldüğü üzere, malzemenin sertliğinin azaltılması gürültü seviyesini düşürmektedir. Bunun sebebi, profil elemanları zemine çarptıklarında oluşan çarpma kuvvetinin küçülmesi ve dolayısıyla lastik yanaklarının titreşiminin azalmasıdır.



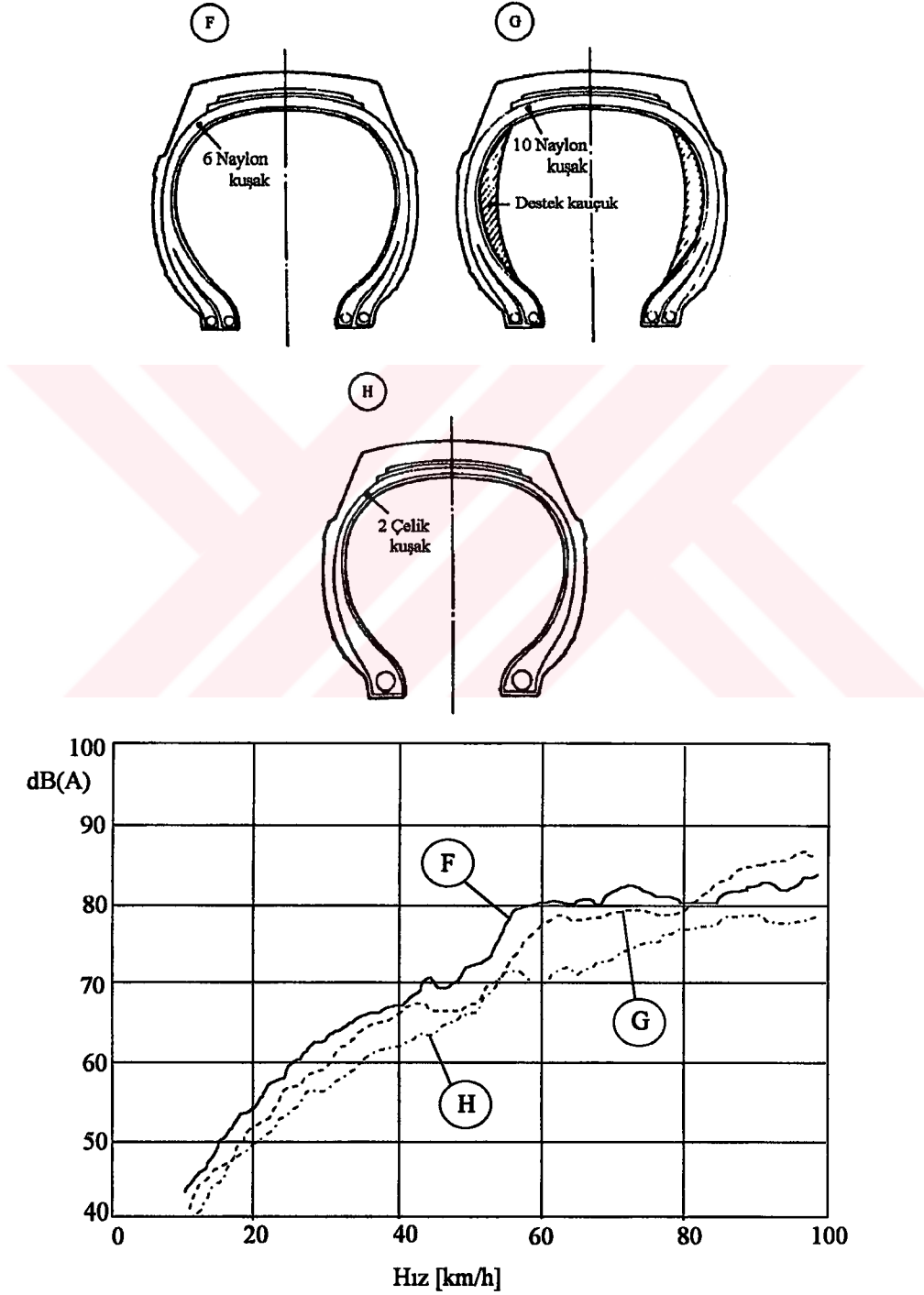
Şekil 3.4 Farklı temas yüzeyi sertliğine sahip iki lastiğin gürültü seviyelerinin hıza bağlı olarak karşılaştırılmaları [6]

Ancak, çapraz katlı lastiklerin sertlik değeri 57° - 62° aralığındadır ve sertliğin buradaki gibi aşırı derecede azaltılması, aşınma mukavemeti gibi diğer özelliklerin kötüleşmesine neden olabilir [6].

3.2.1.3 Lastik yapısı : Bölüm 3.1'de belirtilmiş olduğu gibi, lastik gürültüsü temel olarak lastik yanaklarının titreşiminden kaynaklanmaktadır. Lastik yanaklarının titreşim özellikleri de lastik karkası (lastiğin iskelet yapısı) tarafından belirlenmektedir.

Çapraz katlı ve radyal tipte olmak üzere iki temel lastik yapısı mevcuttur. Çapraz katlı lastiklerde, çevresel merkez çizgiyle yaklaşık 40° açı yapacak şekilde çapraz olarak yerleştirilmiş naylon veya rayon katlar bulunur. Radyal lastiklerde ise katların açısı oldukça azaltılmıştır ve bu katlar katı ve sağlam bir kuşak oluştururlar. Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, radyal lastiklerin çapraz katlı lastiklerden 1-3 dB(A) kadar daha sessiz olabildikleri görülmüştür [2].

Lastik karkası organik tekstil kuşaklı (genellikle naylon) veya çelik kuşaklı olabilmektedir. Lastik karkasının katılığı artırılarak lastik yanaklarının titreşimi kontrol edilebilmektedir. Bunu sağlamak iki şekilde mümkündür: (1) naylon katların sayısını arttırmak ve destek lastik (kauçuk) eklemek, (2) çelik kat malzeme kullanmak.



Şekil 3.5 Farklı karkas yapısına sahip 3 test lastiğinin kesitleri ve gürültü seviyelerinin hıza bağlı olarak karşılaştırılması [6]

Şekil 3.5'te, farklı karkas yapısına sahip çapraz katlı 3 adet lastik ve bu lastiklerin gürültü seviyelerinin karşılaştırılmaları verilmiştir. F lastiği 6 naylon kuşaklı konvansiyonel bir çapraz katlı lastiktir. G lastiğinde 10 naylon kuşak ve destek kauçuk bulunmaktadır. H lastiği ise 2 çelik kuşaklı bir çapraz katlı lastiktir. Gürültü seviyesinin F, G ve H sırasına göre, yani karkas katılığı arttıkça azaldığı şekilde görülmektedir. Bu sonuca göre, karkas katılığını arttırarak lastik gürültüsünü azaltmak mümkündür. Ancak bu durumda lastik ağırlığının artması, taşıt titreşim özelliklerinin bozulması, dolayısıyla da konfor ve taşıt ömrü azalması gibi problemler ortaya çıkacaktır [6].

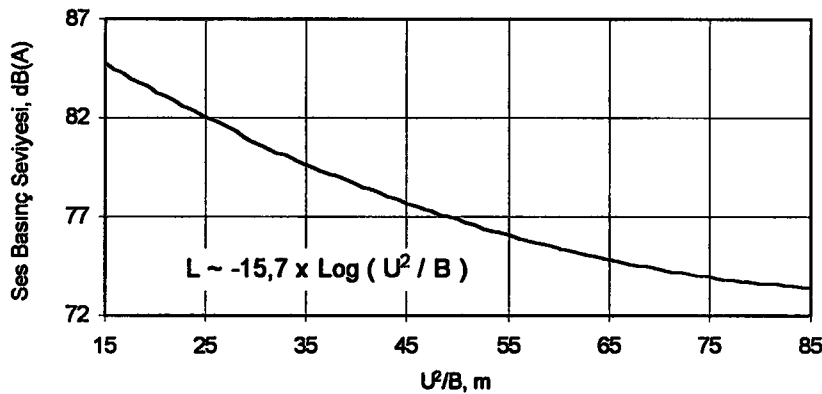
3.2.1.4 Lastik boyutları : Lastik taban genişliği arttıkça profil elemanlarının sayısı da arttığı için gürültü seviyesi daha fazla olmaktadır. Tekerlek çevresinin artışı ise gürültünün azalmasına neden olmaktadır.

Bir iç tamburda ölçülen ses şiddetinin lastik çevresi ve genişliğine bağımlılığı Şekil 3.6'da görülmektedir. Aşağıdaki ifade de bu ilişkiyi bağıntı olarak vermektedir:

$$L_A \sim -15,7 \times \text{Log} (U^2 / D) \quad (3.1)$$

U : Lastik çevresi

D : Lastik genişliği, [7]



Şekil 3.6 Bir iç tamburda ölçülen ses şiddetinin lastik çevresi ve genişliğine bağımlılığı [7]

3.2.2 Yol Kaplamasının Etkisi

3.2.2.1 Yüzey pürüzlülüğü - gözeneklilik : Yol kaplamasının pürüzlülük ve gözeneklilik miktarı, hem gürültü oluşum mekanizmaları üzerinde, hem de akustik yutuculuk üzerinde etkili olmaktadır. Dolayısıyla, kullanılan lastiğin özelliklerine bağlı olarak, toplam gürültü seviyesine etkisi çok değişken olabilmektedir.

Su birikintisi oluşumu ve aquaplaning etkisini azaltmak için tasarlanan gözenekli yüzeylerin, aynı zamanda oldukça sessiz oldukları görülmüştür. Ancak gözenekli (pervious-su geçirgen) asfalt üzerinde oluşan gürültünün frekans spektrumu, düzgün yüzeyli gözeneksiz asfaltınkiyle karşılaştırıldığında, genel olarak düşük frekanslarda gürültü artışı (<1 kHz), yüksek frekanslarda ise gürültü azalması görülmektedir (>1 kHz) [3]. Bunun sebebi olarak, iki frekans aralığında oluşan farklı etkilerden aşağıda bahsedilmektedir.

Bölüm 3.1’de de değinildiği üzere, lastik gürültüsü oluşumundaki en etkili mekanizma lastik titreşimleridir. Yol kaplaması üzerindeki pürüz ya da düzensizlikler, temas yüzeyinde lastik profillerini titreştirir. Bu titreşimler de lastik yanaklarına iletilerek gürültü oluşmasına neden olurlar. Dolayısıyla yüzey pürüzlülüğü arttıkça, bu mekanizma sebebiyle lastik titreşimleri de artacaktır. Ancak, lastik-yol gürültüsünün diğer bir kaynağı olan hava pompalama (air pumping) mekanizmasının etkisi, yüzey pürüzlülüğü arttıkça azalmaktadır. Bunun sebebi profiller arasında kalan havanın yol pürüzleri arasından kaçmasıdır. Ayrıca, gözenekli yapısı sebebiyle, pürüzlü kaplamanın akustik yutuculuk özelliği daha fazla olmaktadır. Bu üç etki gözönüne alındığında, lastik-yol gürültü seviyesini en aza indirmek için yol kaplaması optimum bir pürüzlülüğe sahip olmalıdır.

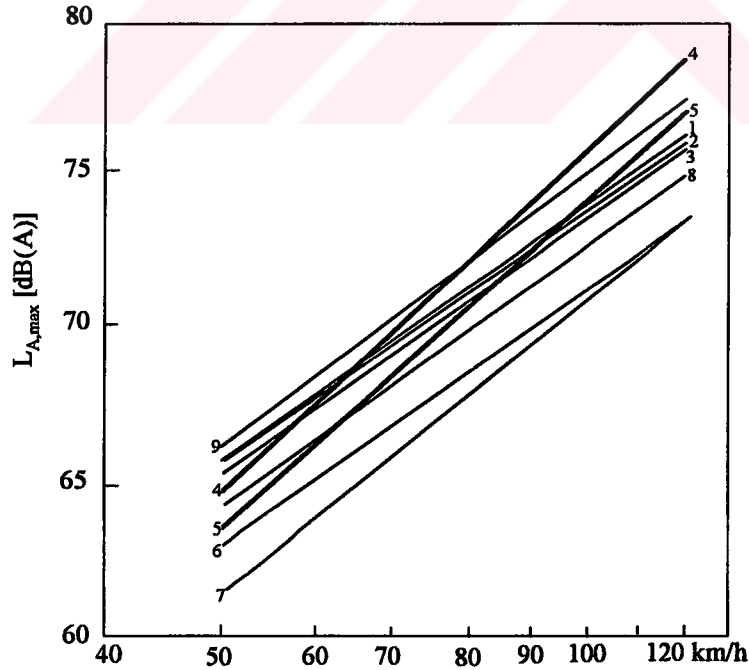
Bu konuyla ilgili olarak Blokland ve Mejer [10] tarafından yapılan çalışmada, 7’si gözenekli yapıda (gözenek miktarı %23 ile %28 arasında değişen), 2’si gözeneksiz, klasik yoğun yapıli tipte olmak üzere toplam dokuz adet farklı yüzey kaplaması

üzerinde, çeşitli tiplerde çok sayıda taşıtın lastik-yol gürültü seviyeleri ölçülmüştür (Tablo 3.1). Ölçümler motor kapalı ve kavrama devre dışı durumda, 7.5 m mesafede alınmıştır.

Tablo 3.1 Testlerde kullanılan yüzey kaplamalarının özellikleri [10]

yüzey	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
tür	gözenekli	gözenekli	gözenekli	gözeneksiz referans	gözeneksiz ISO test-kaplaması*	gözenekli	gözenekli	gözenekli	gözenekli
kaplama yapısı	homojen d = 4 m	homojen d = 4 m	homojen d = 4 m	homojen d = 4 m	homojen d = 4 m	iki tabaka d ₁ = 1,6 cm d ₂ = 3,6 cm	iki tabaka d ₁ = 2,6 cm d ₂ = 4,6 cm	homojen d = 4 m	homojen d = 4 m
çakıl büyüklüğü (en çok)	11 mm	11 mm	16 mm	16 mm	8 mm	8 mm 16 mm	8 mm 16 mm	8 mm	11 mm
taş çeşidi	kırılmış porfir	Ned. kırılmış taş	Ned. kırılmış taş	standart tipte yoğun yapılı asfalt beton		porfir/ Ned. kırılmış taş	porfir/ Ned. kırılmış taş	kırılmış porfir	kırılmış porfir
dolgu malzemesi	bitüm zift 4.6% 80/100	bitüm zift 4.6% 80/100	bitüm zift 4.6% 80/100			kauçuk-bitüm 6.0%/4.2%	kauçuk-bitüm 6.0%/4.2%	kauçuk-bitüm 6.0%	kauçuk-bitüm 6.0%

* ISO/DIS 10844, 1992



Şekil 3.7 Yolcu taşıtlarının, çeşitli gözenekli yol kaplamaları (no 1-3 ve 6-9) ve iki adet gözeneksiz yol kaplaması (4 ve 5) üzerindeki lastik-yol gürültü seviyeleri [10]

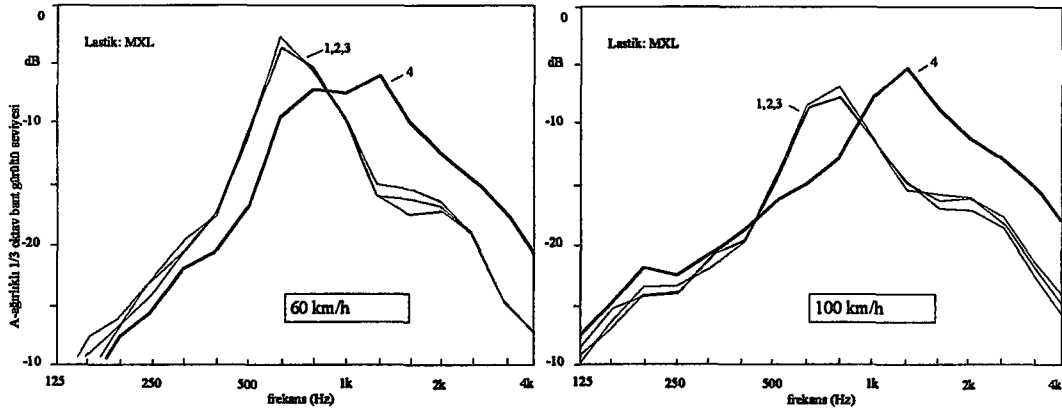
Tablo 3.2 Tüm yüzeyler için gürültü seviyesinin hıza bağlı değişimi ve 4 no'lu referans yüzeyle karşılaştırmalı gürültü seviyesi azalma miktarları [10]

test yüzeyi	gürültü seviyesinin hıza bağlı		4 no'lu yüzeye karşılaştırmalı	
	değişim katsayıları		azalma miktarları (dB(A))	
	A	B	60 km/h	120 km/h
(1)	19	27	-0.3	2.4
(2)	19	27	0.1	2.9
(3)	20	27	-0.2	2.7
(4)	3	36	-	-
(5)	3	36	1.3	1.4
(6)	15	28	2.6	5.2
(7)	7	32	3.8	5.2
(8)	16	28	1.3	3.8
(9)	17	29	-0.8	1.3

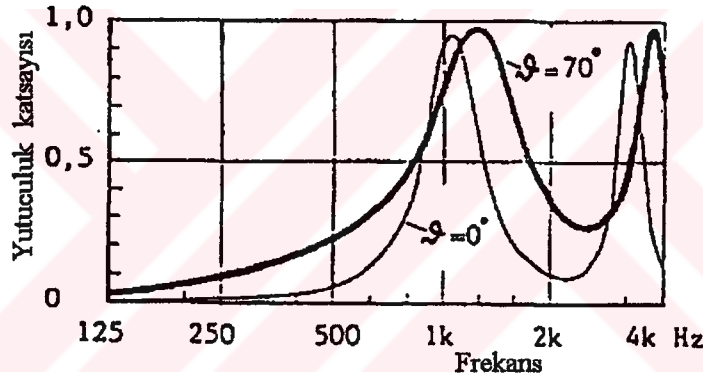
Tüm yüzey kaplamaları için, $L_{A,max} = A + B \log_{10} V$ (bkz.: 3.2.3.1 Taşıt hızı) denkleminde bağlı olarak taşıtların gürültü seviyelerinin taşıt hızına bağlı olarak değişimleri incelenmiştir. Buradaki A ve B katsayıları yol kaplamalarının akustik performanslarını belirlemektedir. Test sonuçları Şekil 3.7'de verilmiştir. Tablo 3.2'de de A ve B katsayılarıyla beraber, düşük ve yüksek hızlarda (60 ve 120 km/h) gürültü seviyelerinin 4 no'lu referans yüzeyle karşılaştırılmaları verilmiştir.

Test sonuçlarından açıkça görüldüğü üzere, gürültü emisyonu taşıt hızıyla orantılı olarak artmaktadır. Ancak, gözenekli 7 yüzey için de B katsayısının değeri belirgin şekilde düşüktür, yani gözenekli yüzeylerde gürültü seviyesinin taşıt hızına bağlı olarak artışı daha yavaş olmaktadır. Bu özellik sebebiyle gözenekli yüzeylerin olumlu etkisi, özellikle yüksek hızlarda serbest akan trafikte ortaya çıkmaktadır.

Gözenekli yüzeylerin düşük hızlardaki performansları ise düşüktür. Bunun sebebiyse, yüzey pürüzlülüğünün temas yüzeyinde lastik profillerini titreştirmesi ve bu titreşimlerin lastik yanaklarına iletilerek gürültü oluşmasına neden olmasıdır.



Şekil 3.8 Gözeneksiz yol kaplaması (4) ile karşılaştırmalı olarak, gözenekli yol kaplamaları (yüzey (1), (2) ve (3)) üzerindeki lastik-yol gürültülerinin, A-ağırlıklı 1/3 oktav bant frekans spektrumları. (4) no'lu kaplamanın gürültü seviyesi 0 dB(A) olarak alınmıştır. [10]



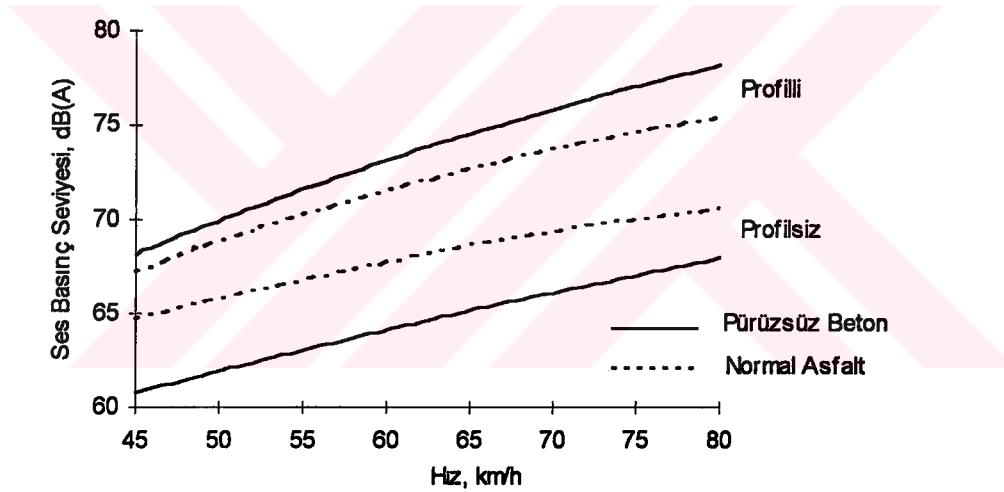
Şekil 3.9 (3) no'lu yüzey için akustik yutuculuk katsayısının frekansa bağlı değişimi [10]

Bu durum, oluşan gürültünün frekans dağılımından açıkça görülebilmektedir. Şekil 3.8'de bazı lastik-yol çiftlerinin düşük ve yüksek hızlarda 1/3 oktav bant frekans analizleri verilmiştir. Diğer tüm lastik-yol ikilileri için de elde edilen sonuçlar oldukça benzerdir.

Şekil 3.8'e göre, gözenekli yüzeylerin frekans dağılımlarında 1000 Hz'in altındaki frekanslarda (özellikle 600-800 Hz aralığında) gürültü seviyesi artış göstermekte, sadece 1000 Hz'in üzerindeki frekanslarda azalma görülmektedir. Bu sonuçlar, farklı iki frekans aralığında (<1000 Hz ve >1000 Hz) oluşan iki ayrı etkiyi ortaya koymaktadır. Gözenekli yüzeyler üzerinde, pürüzlülük sebebiyle oluşan lastik

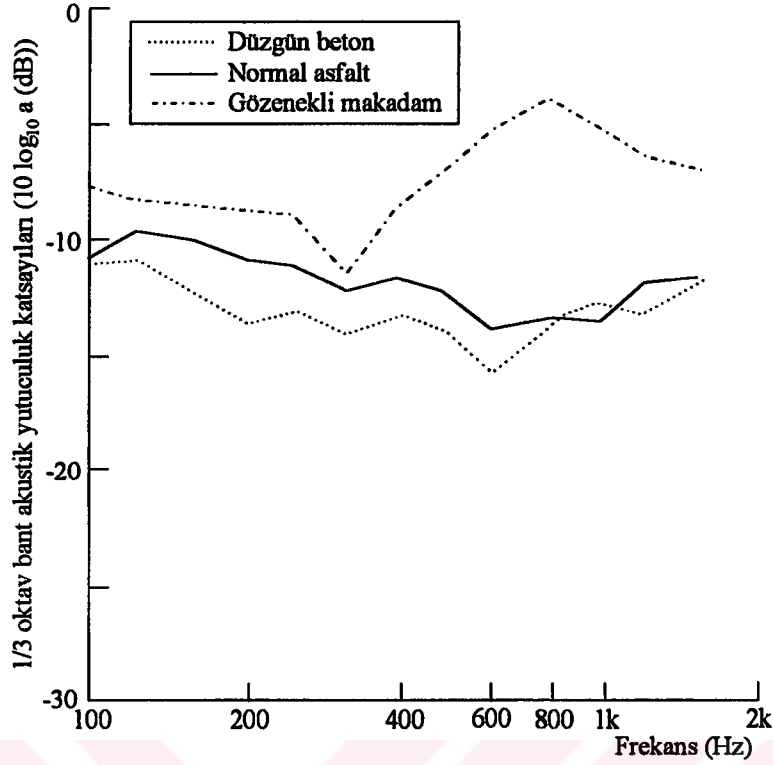
titreşimleri düşük frekanslı bir gürültü oluşturmaktadır. Hava pompalamanın oluşturduğu yüksek frekanslı gürültünün etkisiye azalmaktadır. Ayrıca, yüksek frekanslardaki bu gürültü seviyesi azalması, bu aralıktaki yüksek akustik yutuculuğa da karşılık gelmektedir. (3) no'lu yüzey için akustik yutuculuk katsayısının frekansa bağlı değişimi Şekil 3.9'da verilmiştir.

Genel olarak bakıldığında, profilsiz lastikler pürüzlü zeminde daha gürültülü olurken, profilli lastikler daha sessiz olmaktadır. Çünkü profiller arasında kalan hava yol pürüzleri arasından kaçır ve air pumping etkisi azalır, ve ayrıca pürüzlü kaplama oluşan gürültünün bir bölümünü tutar. Şekil 3.10'da, profilli ve profilsiz lastiklerin iki farklı yüzeydeki etkileri görülmektedir.



Şekil 3.10 Profilli ve profilsiz lastiklerin iki farklı yüzeydeki etkileri [7]

3.2.2.2 Akustik yutuculuk : Taşıttan kaynaklanan gürültü belli bir uzaklığa hem direkt, hem de yol yüzeyinden yansiyarak ulaşmaktadır. Bu nedenle yol kaplamasının akustik yutuculuk özelliği de gürültü seviyesini etkilemektedir. Lastik gürültüsü zemine çok yakın bir bölgede olduğundan, yol kaplamasının akustik yutuculuğu lastik gürültü seviyesi üzerinde özellikle etkili olmaktadır.



Şekil 3.11 Farklı yüzey kaplamaları üzerinde dik geliş için akustik yutuculuk katsayıları [2]

Su birikintisi oluşumu ve aquaplaning etkisini azaltmak için tasarlanan gözenekli yüzeylerin, aynı zamanda oldukça sessiz oldukları görülmüştür. Bu iki yüzeyin gürültü oluşum mekanizmalarına etkileri oldukça farklıdır (bkz.: 3.2.2.1 Yüzey pürüzlülüğü - gözeneklilik). Ancak gözenekli yüzeylerin daha sessiz olmalarının sebeplerinden biri de, gözenekli yüzeylerin akustik yutuculuğunun yüksek olmasıdır. Şekil 3.11'de özel bir kaplama olan gözenekli makadam (pervious macadam) ile normal asfalt ve düzgün beton yüzeylerin, 1/3 oktav frekans bantları için elde edilen akustik yutuculuk katsayılarının karşılaştırılmaları verilmiştir [2]. Gözenekli yüzeyin katsayı değerleri, 630-1000 Hz aralığında diğer iki yüzeyden belirgin şekilde yüksektir. En büyük farklılık 800 Hz civarında görülmektedir. Düzgün betonun ise, tüm frekanslarda en kötü akustik yutuculuk özelliğine sahip olduğu söylenebilir.

Bu şekilde verilen değerler, gürültünün yüzeye dik olarak geldiği durumlar için elde edilmiştir. Ancak, lastik gürültüsü ölçümleri için küçük geliş açıları söz konusudur ve bu durumda katsayı değerleri daha yüksek olmaktadır [2].

3.2.2.3 Mekanik empedans (katılık) : Yapıştırıcı dolgu malzemesinin ve diğer malzemelerin eskimesiyle ve yüzey tabakasının sıcaklığındaki değişiklikler sonucunda, yüzey kaplamasının mekanik empedansı değişebilir. Genel olarak, yüzey kaplamasının Mekanik empedansı arttıkça gürültü seviyesi artacaktır. Dolayısıyla, yapıştırıcı dolgu malzemesi ve bu malzemenin vizkozitesi, sıcaklık ve eskime etkileri sonucunda kaplamanın Mekanik empedansında oluşacak değişiklikleri en aza indirecek şekilde seçilmelidir [11].

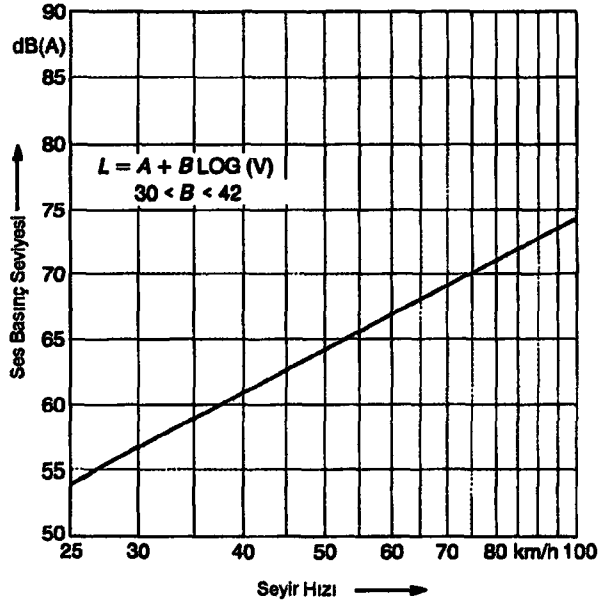
Sonuç olarak söylenebilir ki, değişik yol kaplamaları için oluşan gürültü seviyesi farklılıkları, lastik desenindeki değişiklikler sonucu oluşan küçük farklardan, belirgin şekilde fazladır. Bu sebeple lastik/yol gürültüsünü azaltmak için lastiğin tasarımından ziyade, yol kaplamasının tasarımıyla ilgili çalışmalar daha olumlu sonuçlar verebilir.

3.2.3 Aracın Çalışma Şartları (Sürüş Koşulları) :

3.2.3.1 Taşıt hızı : Sabit hızda serbest geçiş yapan bir taşıtın hareket ekseninden 7.5 m dik uzaklıkta ölçülen maksimum gürültü seviyesiyle taşıt hızı arasındaki bağıntı, aşağıdaki denklemle belirtilmiştir [2,8,9]:

$$L_{A,max} = A + B \log_{10} V \quad (3.2)$$

Burada $L_{A,max}$ maximum (lastik) gürültü seviyesi (dB(A)), V taşıt hızı (km/h), A ve B ise taşıt, lastik ve yol kaplaması özelliklerine bağlı sabit değerlerdir. Çeşitli taşıt, lastik ve yol kaplaması tipleriyle yapılan deneyler sonucunda B katsayısının 29 ve 43 arasında değer aldığı görülmüştür [2] (veya 30-42 arasında [8,9]). Buna göre taşıt hızının her iki katına çıkışı için toplam gürültü seviyesi, lastik ve yol kaplaması özelliklerine bağlı olarak 9 dB(A) ve 13 dB(A) arasında artmaktadır (Şekil 3.12). Yüksek B değerleri, düzgün yüzeyli lastik ve yol kaplamalarına karşılık gelmektedir [2].



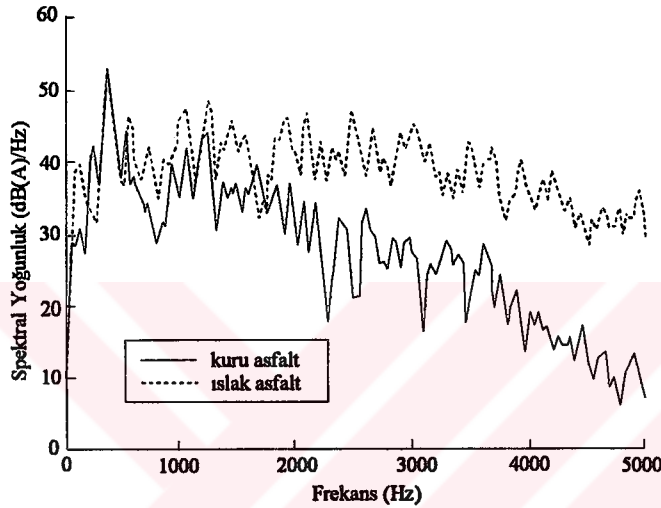
Şekil 3.12 Ses basınç seviyesi - hız ilişkisi [8,9]

3.2.3.2 Tekerlek yükü : Genel olarak, tekerlek yükünün artması, lastik malzemesinin sertleşmesine benzer bir etkiyle, lastik-yol gürültü seviyesinin artmasına sebep olmaktadır [1,2]. Bir örnek olarak, iki akslı bir kamyonun toplam ağırlığı 7.65 tondan 13.23 tona çıkartıldığında, 100 km/h hızdaki lastik gürültüsü seviyesinin, uygulanan lastik-yol kaplaması çiftine bağlı olarak 0.5-6.5 dB(A) kadar arttığı görülmüştür. En büyük artış miktarları çekiş lastikleri takılıyken yapılan ölçümlerde elde edilmiştir. Ortalama artış oranı 2.4 dB(A)'dır [2].

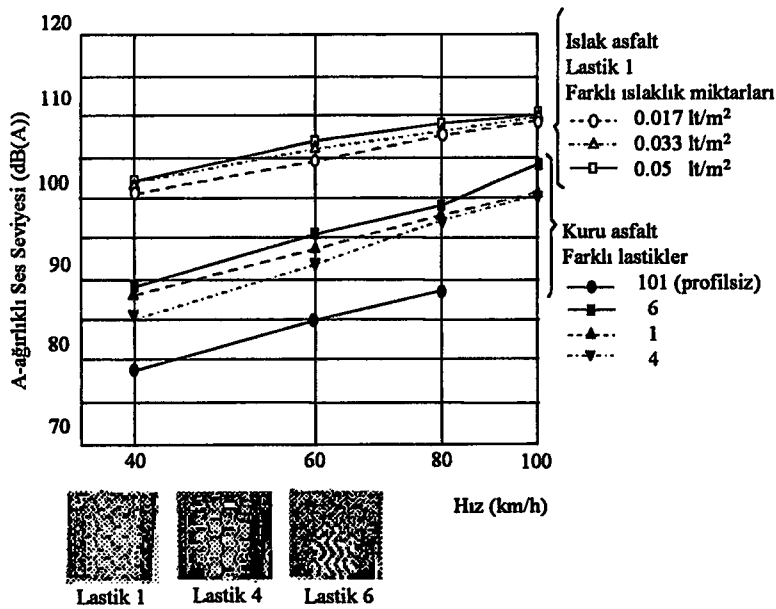
3.2.3.3 Lastik basıncı : Lastik basıncının artması sert lastik etkisi yaratır ve özellikle yüksek frekanslardaki gürültü seviyesinin artmasına neden olur. Ancak lastik basıncının nominal değerleri dahilinde yapılan değişikliklerde bu artış oldukça az ve önemsizdir [7].

3.2.3.4 Islaklık : Çoğunlukla, yol kaplaması ıslaklığının lastik gürültüsünü belirgin şekilde arttırdığı düşünülmektedir. Ancak burada, yol kaplaması üzerindeki su miktarı önemlidir. İnce bir su tabakası -ya da hafif bir nemlilik- bazı durumlarda, farkedilebilir bir su sesine neden olmadan, lastikle yol kaplaması arasındaki yapışma etkisini azaltabilir. Böyle bir durumda ıslaklık, lastik gürültü seviyesinin azalmasına

neden olabilir. Fakat genel olarak, yol kaplaması üzerinde su birikintileri oluştuğunda, lastik gürültüsü 1-15 dB(A) kadar artmaktadır [2,7]. Bu artış miktarı lastik ve yol kaplaması yüzey özelliklerine ve araç hızına bağlıdır. Genellikle, ıslaklık sonucundaki bu gürültü artışı 2000 Hz'in üzerindeki frekanslarda oluşmaktadır (Şekil 3.13). Şekil 3.14'te dört değişik lastik için kuru yolda ve bunlardan biri için farklı su yüksekliklerindeki ses seviyeleri verilmiştir [7].



Şekil 3.13 Kuru ve ıslak asfalt üzerinde 96 km/h hızda yuvarlanan çekiş lastikleri için dar bant frekans analizleri [2]

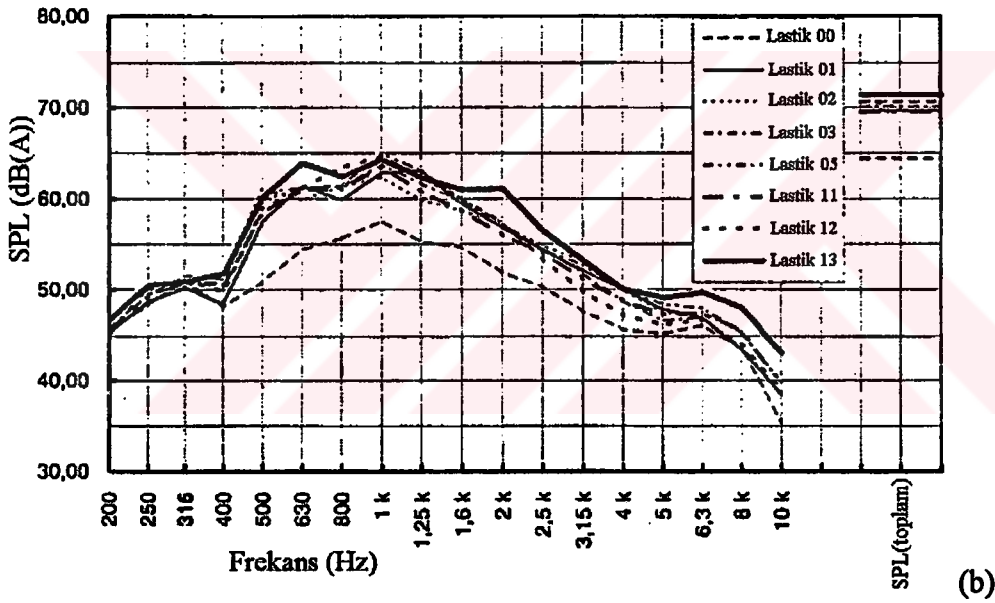
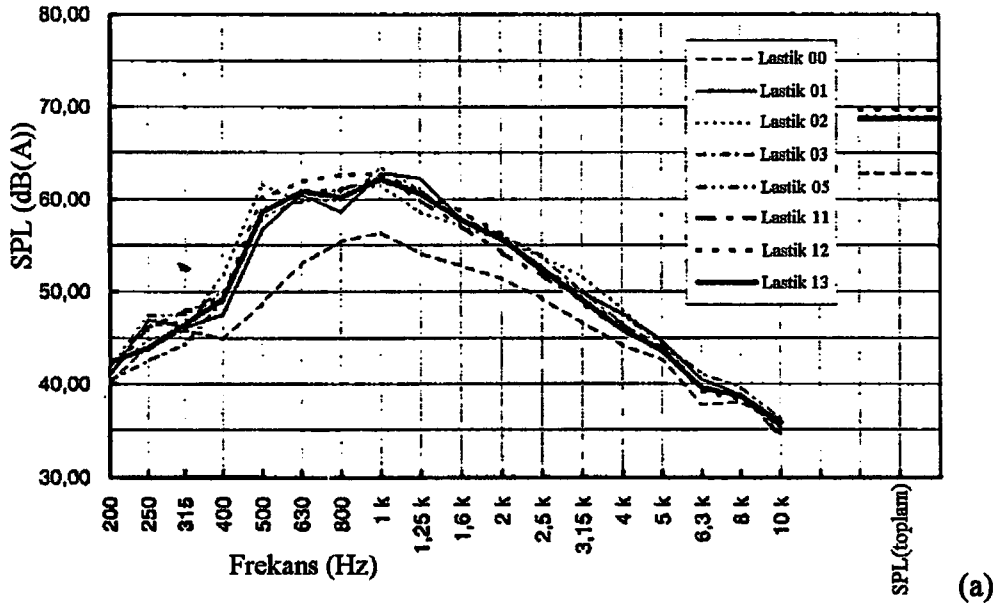


Şekil 3.14 Dört değişik lastik için kuru yolda ve bunlardan biri için farklı su yüksekliklerindeki ses seviyeleri [7]

3.2.3.5 İvme (tork - teğetsel kuvvet) : Taşıtın ivmelenmesi sırasında tekerleğe uygulanan tahrik momenti, temas yüzeyinde kayma oluşmasına neden olmaktadır. Temas yüzeyinde oluşan bu kayma ve farklılaşan temas yüzeyi etkileşimi sonucunda, lastik-yol gürültüsünde bir artış görülmektedir. Ancak ivmelenme etkisiyle oluşan bu gürültü artışının miktarı konusunda oldukça farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bazı araştırma sonuçlarında, çeşitli hızlar için teğetsel kuvvetin etkisiyle oluşan gürültü seviyesi artışları 6-10 dB(A) arasında verilirken, diğer bazı çalışmalarda bu miktarlar 2.1-4.5 dB(A) arasında gösterilmektedir [12].

Bu konuda yapılmış son çalışmalardan birinde ise (Essers ve Horch, [12]), özel bir test taşıtı ve geliştirilmiş yeni bir test ve değerlendirme yöntemi kullanılarak lastik-yol gürültüsü kaydedilmiş ve incelenmiştir. Bu çalışmada, taşıt üzerindeki diğer gürültü kaynakları olan motor, aktarma organları, egzoz ve emme sistemleri tamamıyla yalıtılmış ve lastik-yol gürültüsünün etkili tek gürültü kaynağı olması sağlanmıştır (bu şekilde toplam gürültü seviyesi 8-15 dB(A) düşüş göstermiştir). 7 farklı set standart üretim ve bir set profilsiz lastik kullanılmış ve 70/157/EEC'ye uygun olarak ivmeli geçiş metodu uygulanmıştır. Şafta uygulanan tork DMS-köprüsü kullanılarak ölçülmüş ve gürültü seviyesi taşıtın konumu ve zamana bağlı olarak değerlendirilmiştir.

Şekil 3.15 (a)'da 55.5 km/h sabit hızda, Şekil 3.15 (b)'de ise ikinci viteste tam yük uygulanmış durumda, tüm lastik tipleri için $s = 5$ m mesafede ölçülen frekans spektrumları ve toplam gürültü seviyeleri verilmiştir. Farklı lastik tiplerinin sabit hızdaki frekans spektrumları oldukça benzer olduğu halde, ivme etkisi altındaki spektrumlarda farklılıklar görülmektedir. Teğetsel kuvvetin lastik-yol gürültüsü üzerindeki artış etkisinin ise, daha önceki çalışmalarda belirtilenlerden çok daha düşük olarak, 1-3 dB(A) arasında olduğu görülmüştür. Bu şekillerde belirtilen "Lastik 00" profilsiz, "Lastik 13" ise aşırı profilli lastiklerdir.



Şekil 3.15 (a) 55.5 km/h sabit hızda ve (b) ikinci viteste tam yük uygulanmış durumda, taşıt s = 5 m mesafedeyken ölçülen frekans spektrumları (ISO referans yol kaplaması üzerinde) [12]

Donavan [13] tarafından yapılan bir çalışmada ise, ISO 362/SAE J1470 veya SAE J986 ivmeli geçiş test prosedürlerine göre hızlanan bir taşıtın, farklı lastikler ve ivmelenme oranları için, taşıt üzerinde yakın mesafede ölçülen ses şiddeti değerleri incelenmiştir. Gürültü seviyesi lastiğin çok yakınından, temas yüzeyinin ön ve arka kısmında lastik yanak düzleminde 100mm mesafede ve zeminden 60mm yükseklikte ölçülmüştür. Lastik-yol gürültüsünü taşıt üzerindeki diğer gürültü kaynaklarının

etkilerinden arındırmak için, iki-mikrofonlu ses şiddeti ölçüm metotları kullanılmıştır. Yapılan testlerde beş değişik tipte lastik kullanılmıştır (Tablo 3.3). Ölçümler tek bir taşıtla ve tek bir düzgün yüzeyli kaplama üzerinde, 48-80 km/h hız aralığında, dört farklı ivmelenme oranında (0, 0.9, 1.5 ve 2.3 m/s²) gerçekleştirilmiştir.

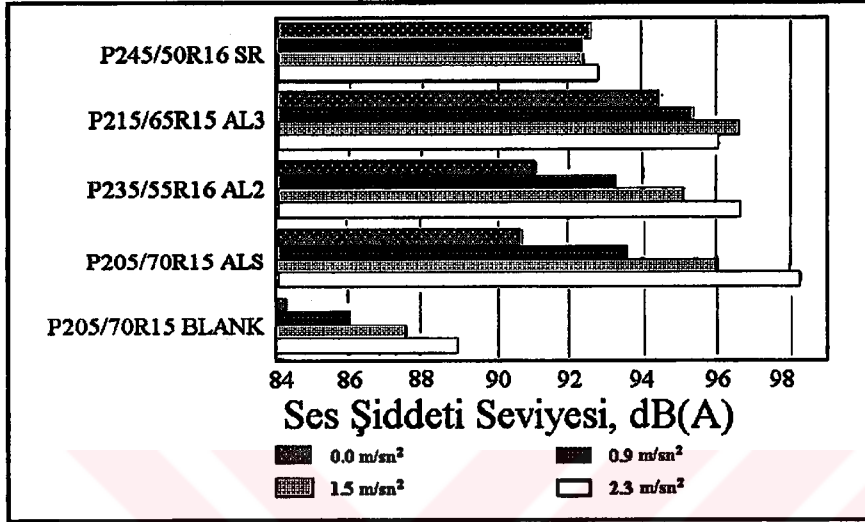
Tablo 3.3 İvmelenme ölçümlerinde kullanılan test lastikleri [13]

Kategori	Boyut	İmalatçı
Dört mevsim	P205/70R15 (ALS)	Michelin
Gezi	P235/55R16 (AL2)	Goodyear
Performans	P215/65R15 (AL3)	Goodyear
Hız	P245/50R16 (SR)	Goodyear
Profilsiz	P205/70R15	Goodyear

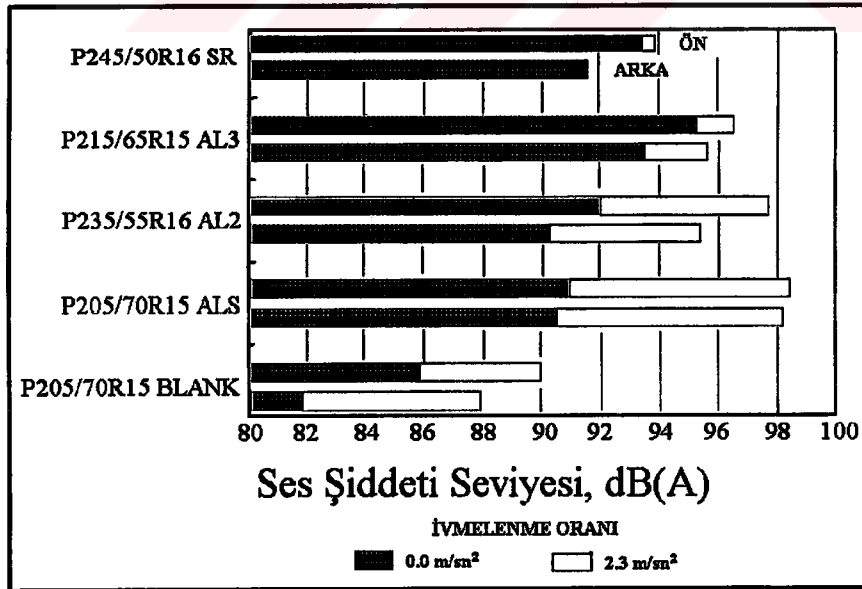
48-80 km/h hız aralığında yapılan çok sayıda ölçümlerde, tüm lastikler için, ivmelenme oranı arttıkça gürültü seviyesinde genel bir artış görülmüştür. Ancak bu artış miktarları lastik tipine göre farklılıklar göstermektedir. İvmelenme etkisine karşı en büyük hassasiyeti, 0.0 ve 2.3 m/s² ivmelenme oranlarında yapılan ölçümler için oluşan 9 dB(A) fark ile dört mevsim lastiği, en küçük hassasiyeti ise 1 dB(A)'dan az farklılıklarla hız lastiği göstermiştir. Testte kullanılan profilsiz lastik ise, lastik-yol gürültü seviyesi diğer profilli lastiklerden en az 5 dB(A) daha düşük olduğu halde, ivmelenme etkisine karşı önemli bir hassasiyet göstermiştir. Şekil 3.16'da tüm lastikler için 56 km/h hızda ivmelenme oranlarının etkileri görülmektedir. Bu hızda ivmelenmenin etkisi, lastik ve ivmelenme oranına bağlı olarak sıfır ile 7 dB(A) arasında değişmektedir. Frekans analizleri sonucunda ise, bu lastiklerin gürültü frekans spektrumları arasında büyük farklılıklar olduğu görülmüştür.

Bu araştırmada ayrıca, temas yüzeyinin ön ve arka kısımlarında alınan ölçümlerle, ivmelenmenin bu iki bölgedeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, 56 km/h hız ve tüm lastikler için Şekil 3.17'de verilmiştir. Görüldüğü üzere, ivmelenme durumunda, sabit hız durumunda olduğu gibi, temas yüzeyinin ön kısmındaki ses şiddeti seviyeleri tüm lastikler için arka kısım seviyelerinden daha fazla olmaktadır.

Temas yüzeyinin ön ve arka kısımları arasındaki farklılıklar, sabit hız ve ivmelenme durumları için yaklaşık olarak eşittir. Bu durumdan, ivmelenmenin etkisinin temas yüzeyinin sadece ön, veya sadece arka kısımda oluşmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.16 56 km/h hızdan ivmelenen bir taşıtın lastiği için, yakın mesafede ölçülen ses şiddeti seviyeleri [13]



Şekil 3.17 56 km/h hızda temas yüzeyinin ön ve arka kısımlarında, ivmelenme oranının sınır değerlerinde, tüm lastikler için ölçülen yakın mesafe ses şiddeti seviyelerinin karşılaştırılmaları [13]

BÖLÜM 4

GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMÜ

Lastik/yol gürültüsü hem taşıt içinde hem de taşıt dışında etkili olmaktadır. Taşıt içindeki lastik gürültü seviyesi satışla direkt ilgili bir konu olduğu için, lastik ve otomotiv endüstrileri tarafından dikkate alınmakta ve azaltılması için çalışılmaktadır. Ancak dış lastik/yol gürültüsüyle ilgili olarak müşteriler, toplum veya kanunlar tarafından herhangi bir kısıtlama ortaya çıkmamıştır. Taşıt motor ve aktarma organlarının gürültü seviyeleri azaltıldıkça lastik gürültüsü ön plana çıkmaktadır ve artık, lastik gürültüsünün azaltılması için önlemler alınması gerektiği kabul edilmektedir. Yapılacak çalışmaların istenilen sonuca ulaşması, ancak ölçüm metotları ve yönetmelikler üzerinde uluslararası anlaşmaya varılmasıyla mümkün olacaktır.

4.1 METOTLAR, STANDARTLAR VE YÖNETMELİKLER

Taşıt gürültüsünün en önemli şekli, taşıtların trafik içindeki hareketleri sırasında çıkardıkları dış gürültüdür. Bu gürültünün ölçülmesiyle ilgili yöntemler her ülkede yaklaşık aynıdır ve ISO 362-1981, ECE R-51, SAE J366, SAE J1470, US/EPA ve TS 2214/1991 gibi prosedürlerle tariflenmektedir. Müsaade edilen azami gürültü seviyeleri ise ECE R-51, 92/97/EEC (ilk hali 70/157/EEC, diğer ara değişiklikler 73/350/EEC, 77/212/EEC, 81/334/EEC, 84/424/EEC) ve Türkiye için Sanayi Genel Müdürlüğü Tebliğ No: 92/109-110 ile belirtilmiştir [2,8,9,14].

Bu prosedürlerde belirtilen metotlar, temel olarak motor-aktarma organları gürültüsünü kontrol etmeye yönelik olarak tasarlanmıştır. Yapılan ölçümlerde taşıtlar ivmeli geçiş yaparlar ve bu sebeple lastik/yol gürültüsünün etkisi kontrol

edilememektedir. Bu prosedürlerde taşıtlar yüksüzdür ve lastiklere aşırı tork uygulanmaktadır. Bu, trafikte yaygın olmayan özel bir durumdur ve lastik/yol gürültüsünü çok fazla etkilemektedir. Motor-aktarma organları gürültü emisyonu en yüksek seviyede olduğundan, bu şartlar altında lastik/yol gürültüsü çevresel bir problem oluşturmamaktadır. Ayrıca, baskın olan motor-aktarma organları gürültüsünün yalıtılması mümkün olmadığından, bu özel durumda lastik/yol gürültüsünün ölçülmesi ve değerlendirilmesi de mümkün değildir. Lastik/yol gürültüsünün çevre için rahatsızlık yarattığı durum ise, genel olarak serbest yuvarlanmada veya orta ve yüksek hızlarda oluşmaktadır.

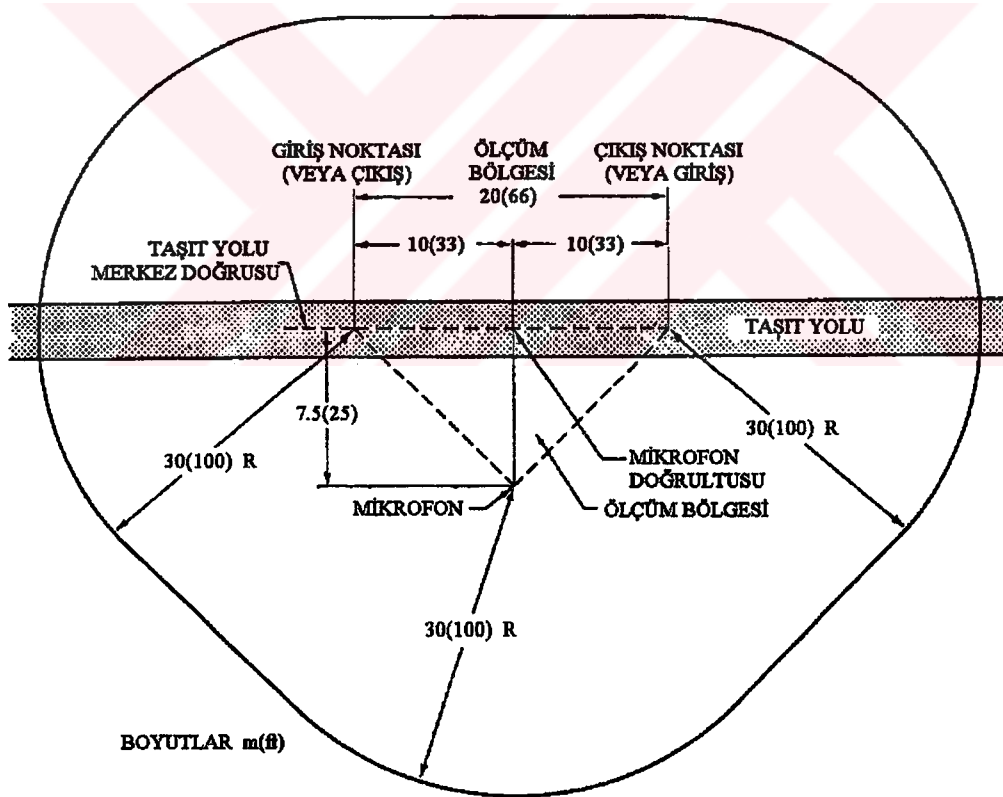
Ancak, lastik gürültüsünü dikkate alan ve taşıtların lastik gürültü seviyelerini sınırlayan mevcut bir yönetmelik yoktur. Lastik gürültü seviyesi ölçümünü tarifleyen mevcut standartlar ise Amerika'da uygulanan SAE J57 standardı ve Avrupa'da uygulanan 92/23/EEC direktifiyle sınırlıdır. Bu iki standartta tariflenen ölçüm metodları oldukça benzerdir.

Kamyon lastiklerinin gürültü seviyelerinin ölçümünü tarifleyen SAE J57 standardı, ilk olarak 1973 yılında Amerika Otomotiv Mühendisleri Birliği (SAE) tarafından "Recommended Practice" olarak yayınlanmıştır [15]. Burada uygulanan metot, serbest-geçiş metoduna (bkz.: 4.1.1.1 Serbest-geçiş metodu) oldukça benzemektedir (mikrofon yol merkezinden 15 m mesafede). Farklı olduğu nokta, ön aksta "sessiz" lastiklerin kullanılıyor olmasıdır. Böylelikle, serbest-geçiş sırasında mikrofonda ölçülen en yüksek gürültü seviyesini, çekiş uygulanan arka aksa takılı test lastikleri oluşturacaklardır. Ancak pratikte, ön lastiklerin gürültü etkisini tamamen yoketmek mümkün olmamaktadır.

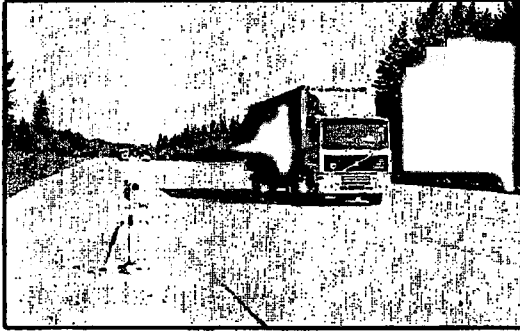
Bu standatta belirtilen test koşulları ve ölçüm yöntemleri, ölçüm farklılıklarına yol açacak şekilde belirsiz ve anlaşılabilir bulunmuştur. Ayrıca, ölçüm sonuçları kullanılan taşıttan etkilenmekteydi ve 15 m mikrofon mesafesi kullanıldığı için bu prosedür, Avrupa gürültü yönetmelikleri ve ilgili ISO ölçüm prosedürleriyle uyumlu değildi. Bu sebeplerden dolayı, SAE J57 test prosedürü 1994 yılında bir revizyon geçirmiştir [16,17,18]. Prosedürün bu yeni hali, iki bölümden oluşmaktadır. "Bölüm A" 15 m

mikrofon mesafesi için 56 ve 80 km/h hızlarda, "Bölüm B" ise -Avrupa ve Japon uygulamalarıyla uyumlu olarak- 7.5 m mikrofon mesafesi için 50 ve 60 km/h hızlarda testler tariflemektedirler. Kullanıcının tercihinine bağlı olarak, Bölüm A ve B'nin her ikisi de veya sadece biri uygulanabilmektedir.

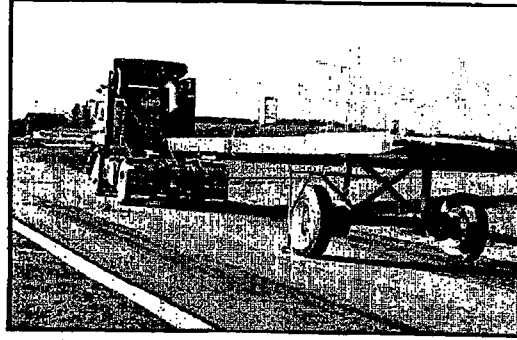
Revizyon sonucunda, kullanılan ölçüm yöntemi serbest-geçiş metodu yerine, römorkla serbest-geçiş metodu olarak değiştirilmiştir. Bundaki amaç, test taşıdının ölçüm değerleri üzerindeki etkilerini ortadan kaldırmaktır. Test zemini ISO/DIS 10844'e uygun olarak kaplanmış olmalıdır. Ortam ve yüzey sıcaklıkları, rüzgar hızı, lastik basıncı ve lastiğin ısıtılması süreciyle ilgili şartlar da ayrıca belirtilmiştir.



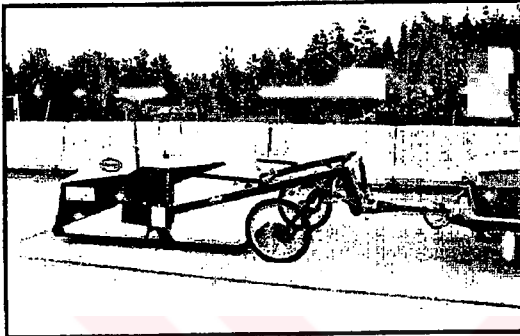
Şekil 4.1 SAE J57 test parkuru (Bölüm B için) [16]



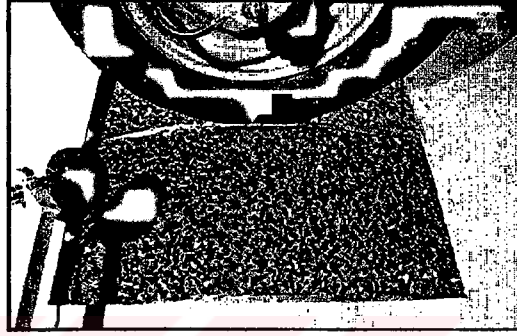
Şekil 4.2. Serbest-geçiş metodu (mikrofon, yol merkezinden 7.5 m mesafede) [14]



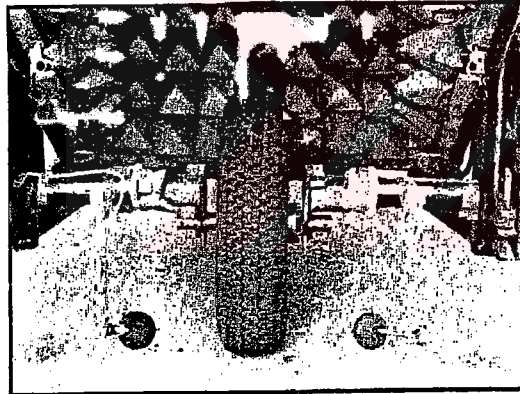
Şekil 4.5. Kamyon lastikleri için kullanılan römork düzeneği. Lastiklerin çevresinde muhafaza bulunmamaktadır [14]



Şekil 4.3. Otomobil lastikleri için römork düzeneği. Test lastiği muhafazanın içinde bulunmaktadır [14]



Şekil 4.6. Laboratuvar tambur metodu [14]



Şekil 4.4. Şekil 4.3'deki düzeneğin içten görünüşü. İki adet mikrofon simetrik olarak, yuvarlanma yönüyle 135° açıda yerleştirilmiştir. [14]



Şekil 4.7. Römorkla serbest-geçiş metodu [14]

4.1.1 Lastik Gürültüsü Ölçüm Metotları - Genel Bakış

Taşıt gürültü seviyesi ölçümü için çeşitli standartlaşmış metotlar uzun yıllardır kullanılmaktadır. Fakat bu metotlarda taşıtlar, motor ve aktarma organlarının gürültüleri en yüksek seviyede oluşacak şekilde sürüldüklerinden, lastik gürültüsünün kontrolüne yönelik olarak kullanılmaları mümkün değildir. Lastik gürültüsünün

ölçülmesi ve değerlendirilmesi için son yıllarda kullanılmaya başlanan dört ana metot şunlardır:

4.1.1.1 Serbest-geçiş metodu (coast-by method) : Bu metotta test taşıtı, yol merkezinden 7.5 m (veya 15 m) uzaklığa yerleştirilmiş bir mikrofona önünden motor kapalı durumda geçer. Taşıtın geçişi sırasındaki en yüksek gürültü seviyesi, A-ağırlıklı olarak ve çoğunlukla FAST modunda ölçülür. Gürültü seviyesinin en yüksek olduğu an için 1/3 oktav bant frekans analizi de yapılabilmektedir. Bu metot hem yol kaplamasının, hem de lastik tipinin, gürültü seviyesi üzerindeki etkilerinin sınıflandırılması için sıkça kullanılmaktadır. (Şekil 4.2)

4.1.1.2 Römork metodu: Test edilecek lastik, bir taşıt tarafından çekilen bir römorka takılır. Bir veya daha fazla sayıda mikrofona, test edilecek lastiğe 0.1-0.5 m mesafede olacak şekilde römork üzerine monte edilir ve gürültü seviyesi, belli bir zaman aralığı için (genellikle 4-60 sn.) ortalama değer olarak ölçülür. Römork üzerinde, mikrofona ve test lastiği çevresinde rüzgar ve trafik gürültüsünü perdeleyecek bir rüzgar başlığı bulunmalıdır. Bazı römorklarda, aynı anda birden fazla lastiği değerlendirmek mümkün olabilmektedir. (Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5)

4.1.1.3 Laboratuvar tambur metodu : Bu metotta test lastiği tambur üzerinde (genellikle 1.5-2.5 m çapında) dönecek şekilde monte edilir ve bir veya daha fazla sayıda mikrofona lastik yakınına yerleştirilir (Şekil 4.6). Mikrofonların konumu prensip olarak, römork metodundakiyle aynı olmalıdır ve ortamın akustik özelliklerinin uygunluğuna dikkat edilmelidir. Ayrıca tambur yüzeyi, gerçek yol kaplamasına benzer bir yüzey olmalıdır. Bunu sağlamak için tambur yüzeyi, yol kaplamasına benzer dökme bir malzemeyle parçalar halinde kaplanabilir. Eğer tambur üzerinde kullanılan bu kaplama malzemesi belli bir standarta uygun olarak üretilir ve yaygın olarak bu tek tip kaplama kullanılırsa, tambur üzerinde yapılan lastik gürültü ölçümleri arasında çok daha güvenilir mukayese yapma imkanı olacaktır. Açık alan ölçümlerinde ise, yol kaplamaları belli bir standarta göre döşenmiş olsalar bile farklılık gösterebilmektedirler.

4.1.1.4 Römorkla serbest-geçiş metodu : Bu metot, serbest-geçiş ve römork metotlarının bir birleşimidir. Bir römork, bir taşıt tarafından test yolu boyunca çekilir ve mikrofonlar serbest-geçiş metodunda olduğu gibi, yol merkezinden 7.5 m (veya 15 m) uzaklığa yerleştirilir (Şekil 4.7). Ancak ölçülen gürültü römorkun geçişi sırasında gürültü olmalı, çekici araç mikrofona en yakın konumdan geçerkenki gürültü seviyesi kaydedilmemelidir. Çekici araç ve römorkun gürültülerini birbirinden ayırmak için aradaki bağlantı uzun tutulabilir, çekici araca mevcut en sessiz lastikler takılıp, lastiklerinin çevresine de yalıtkan perdeler yerleştirilebilir. Bunların yanında ayrıca, çekici aracın gürültüsü tek başına ölçülüp, önceden bulunan değerler üzerinde düzeltme yapmak gerekebilir.

4.2 LASTİK GÜRÜLTÜSÜ ÖLÇÜMÜNDE KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR

4.2.1 Motor çalışır veya kapalı

Yüksek hızlardaki taşıt gürültüsünü ölçmek ve değerlendirmek için en iyi yolun, yüksek hızlarda Motor çalışır durumda geçiş (pass-by) testleri olduğu düşünülebilir. Böyle bir metotta taşıt, serbest-geçiş metodunda olduğu gibi, yol kenarındaki bir mikrofonun önünden 60-90 km/h'lik bir hızla geçecektir ve aradaki tek fark motorun çalışıyor olması olacaktır.

Fakat motor çalışır durumda sabit hızda geçiş testiyle ilgili önemli bir problem sözkonusudur: Sürücü taşıtı sabit hızda tutmak için gaz keleşinin konumunu değıştirmek zorunda kalabileceğinden, en yüksek gürültü seviyesi kaydedildiği anda motorun ne derecede yüklü olduğunu tam olarak bilmek mümkün olmayacaktır.

Bu sebeple, motor-aktarma organları ve lastik/yol gürültüsü ölçümlerini ayrı ayrı gerçekleştirmek daha gerçekçi sonuçlar verecektir. Böylelikle her lastik tipi için motor kapalı durumda yüksek-hız testi gerçekleştirilebilir ve lastik özellikleri bağımsız olarak incelenebilir. Bu durum taşıt ve lastik üreticilerinin sorumluluklarını ayırma imkanı da sağlayacaktır. Motor çalışır durumda geçiş (pass-by) testi

uygulandığı takdirde, ya lastik seçimi test lastiğiyle sınırlandırılmalıdır, ya da taşıtla kullanılabilecek her lastik tipi için testler tekrarlanmalıdır.

Eğer tüm etkileşimlerin incelenmesi isteniyorsa, sadece araç-lastik kombinasyonlarını test etmek de yeterli olmayacaktır. Yol kaplamasının gürültü seviyesi üzerindeki etkisi, lastiğin etkisinden daha az olmadığından, araç-lastik-yol kaplaması etkileşimlerinin tümü test edilmelidir. Bu pratik bir yol olmadığı için motor-aktarma organları, lastik ve yol kaplamasının etkileri ayrı ayrı ele alınıp değerlendirilmelidir.

4.2.2 Taşıtın Etkisi

Aynı lastiğe farklı taşıtlarda uygulanan testlerin sonuçları tamamen aynı olmayacaktır. Taşıtlar, lastik gürültüsünü şu şekillerde etkileyebilir:

- gövdenin perdeleme veya yansıtma etkisi
- tekerlek asılışındaki bozukluklar
- tam ayrılmayan frenler
- hava türbülans gürültüsü
- motor-aktarma organlarının etkisi
- gevşek parçaların çıkarttıkları sesler
- süspansiyon yay sesleri
- aşırı yumuşak veya sert süspansiyonun lastik dinamiği üzerindeki etkisi
- değişik tekerlek yükleri
- rulman sesi

Yapılan araştırmalar sonucunda, farklı taşıtların lastik gürültüsü üzerindeki etkisinin, 70-90 km/h hız değerleri için 1 dB(A)'den az olduğu görülmüştür [14].

Taşıtın etkisi, serbest-geçiş metodunda en fazla, römorkla serbest-geçiş metodunda daha az, römork ve laboratuvar tambur metotlarında ise en az olacaktır. Ancak,

römorkla serbest-geçiş metodunda kullanılan ekipmanlar açıkça belirtilmelidir. Aksi takdirde taşıtın etkisi, serbest-geçiş metodundaki kadar fazla olacaktır.

4.2.3 Yük

Lastik yükü, lastik gürültü seviyesi üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir. Ancak, lastik genişliği gürültü seviyesiyle doğrudan ilişkilidir ve ağır taşıtlar için doğal olarak geniş tabanlı lastikler kullanmak gerekmektedir. Fakat aynı lastik için, eğer lastiğin omuz kısmındaki dişler çok sert ve çıkıntılı değilse, lastik yükü veya iç basıncın değişimi gürültü emisyonu üzerinde sadece çok küçük bir etki oluşturmaktadır. Sonuç olarak, lastik yükünü belirlerken, standartlaşmış metotları kullanmanın gürültü emisyonu açısından bir sakıncası yoktur [14].

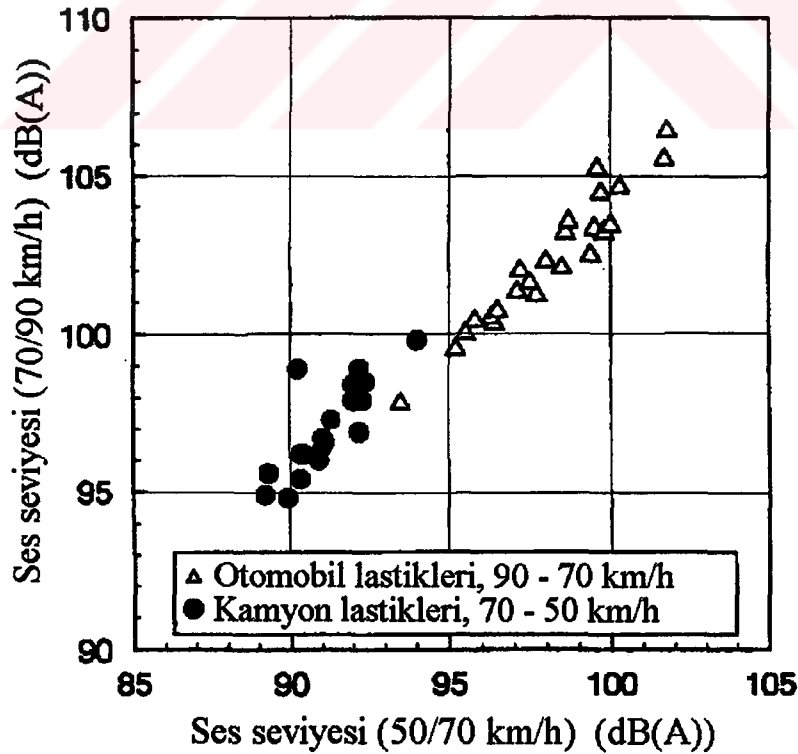
4.2.4 Hız

Hızın her iki katına çıkışı için lastik yol gürültüsü yaklaşık 9-10 dB(A)'lık bir artış gösterir. Yani hızın iki katına çıkması, gürültü etkisinin de yaklaşık iki katına çıkması anlamına gelir [14].

Düz çelik tambur ve Safety Walk (kaba taneli zımpara benzeri kaymaz zemin kaplama malzemesi) gibi aşırı düzgün yüzeylerde, bazı lastiklerin belli yüksek hızlarda belirgin şekilde rezonansa girdikleri bilinmektedir. Eğer ölçümlerde kullanılan test yüzeyleri aşırı düzgün değilse, genel olarak, farklı test hızları için lastiklerin gürültü seviye sıralamaları değişiklik göstermemektedir (ölçüm hatalarından kaynaklanan değişiklikler hariç). Bu duruma göre, standartlaşmış bir test hızı seçilebilir ve yapılacak testlerde sadece bu hızda değerlendirme yapmak yeterli olabilir. Ejsmont ve Sandberg [14] yaptıkları çalışmalar sonucunda bu hızın, fon gürültüsü, taşıt etkileri ve uygulanabilirliği optimize eden 70 km/h olabileceğini belirtmişlerdir.

Ancak, daha sonra yapılan çalışmalar sonucunda, bazı lastikler için normal zemin yüzeylerinde de bu gibi rezonansların bulunduğu görülmüştür. Bu lastikler genellikle sert ve aşırı dişli lastiklerdir. Bu durumda farklı test hızları için farklı gürültü seviyesi sıralamaları elde edilecektir. Şekil 4.8’de örnek bir durum gösterilmektedir. Bu şekilde, otomobil lastikleri için 90 ve 70 km/h hızlarda tambur metoduyla elde edilen ölçüm sonuçlarıyla, kamyon lastikleri için 70 ve 50 km/h hızlarda römork metoduyla elde edilen ölçüm sonuçları, kendi içlerinde karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Her lastik için, farklı iki hızdaki gürültü seviyelerinin kesişimi grafik üzerinde işlenmiştir. 1’e 1 doğrusuna göre oluşan sapmalar, lastiklerin farklı iki hızda gösterdikleri performansların aynı olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu sapmalar sonucunda da, lastiklerin gürültü seviyelerine göre sıralanmaları, iki hız için birbirinden farklı olacaktır [14].

Sonuç olarak, bu etkiyi ortadan kaldırmak için, çeşitli hızlarda ölçümler yapıp ortalamalarını değerlendirmek daha doğru sonuçlar verecektir.



Şekil 4.8 Farklı iki hızda ölçülen gürültü seviyelerinin karşılaştırılması (her nokta farklı bir lastiği göstermektedir) [14]

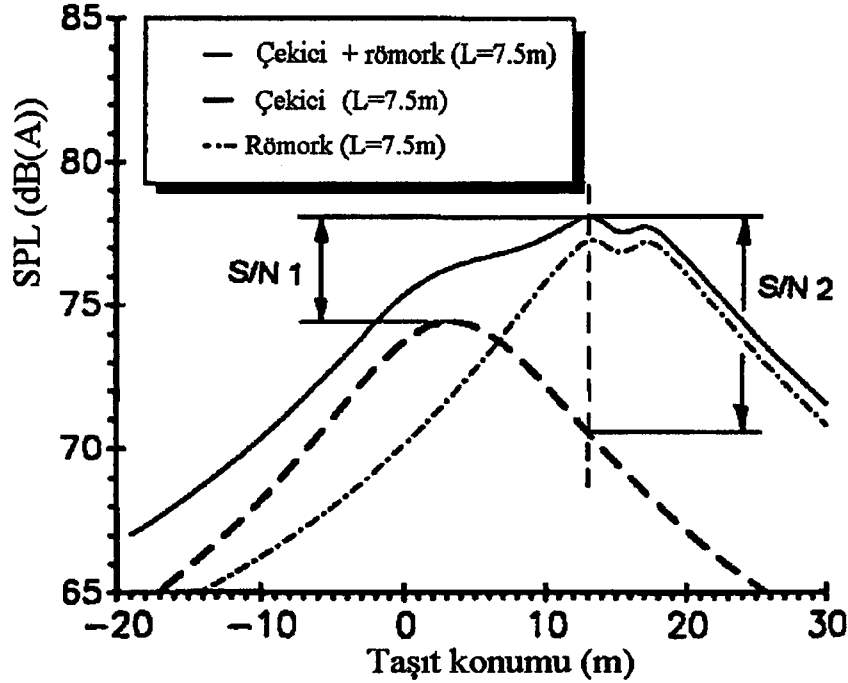
4.2.5 Fon Gürültüsü

"Taşıtın etkisi" başlığı altında belirtilen konularla, trafikten ve diğer çevresel etkenlerden kaynaklanan gürültüler, belli bir fon gürültüsü oluşturarak ölçüm değerlerini etkilemektedirler. Fon gürültüsünün etkisini azaltmak için mikrofon, test lastiğine mümkün olan en yakın konumda bulunmalıdır. Bu açıdan bakıldığında, mevcut iki seçenek içerisinde, Avrupa'da kullanılan 7.5 m mikrofon uzaklığı, Amerika'da kullanılan 15 m'lik uzaklığa göre daha tercih edilir olmaktadır.

Elde edilen ölçüm değerleri rüzgardan da etkilenmekte ve bu iki farklı şekilde olmaktadır: ses dalgaları rüzgarın etkisiyle dağılmakta ve ayrıca mikrofon üzerinde de rüzgar gürültüsü oluşmaktadır. Bu sebeple, rüzgar hızı belli bir değerin altında olmalıdır (5 m/s). Mikrofonun taşıt üzerine monte edildiği durumlarda ise, ortamda rüzgar olmasa bile taşıtın hızından dolayı bir mikrofon gürültüsü oluşmaktadır. Bunu önlemek için mikrofon çevresinde, rüzgarın etkisini engelleyecek bir rüzgar başlığı bulunmalıdır.

Fon gürültüsünden en fazla etkilenen metot römork metodudur ve bu etki de en fazla rüzgardan kaynaklanmaktadır. Rüzgarın bu etkisini ortadan kaldırmak için düşük frekans değerlerinin hesaplama dışında tutulması yeterli olacaktır [14].

Bir diğer önemli problem de, römorkla serbest-geçiş metodunda çekici aracının yaydığı gürültünün etkisidir. Ölçülen değerler üzerinde bu etkiye bağlı olarak düzeltme yapmak için, tek başına çekici aracın gürültüsü aynı şartlarda ölçülmeli ve toplam gürültü seviyesinden çıkartılmalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken konu, çekici aracın römorkun 5-15 m kadar önünde gitmesidir. Bundan dolayı, tek başına çekici aracın en yüksek gürültü seviyesiyle, römorku çektiği durumdaki en yüksek gürültü seviyesi aynı konumda oluşmamaktadır. Bu durum Şekil 4.9'da görülmektedir. Çekici araç gürültüsü için düzeltme, çekici aracın en yüksek gürültü seviyesi için değil, römork gürültüsünün en yüksek olduğu andaki çekici araç gürültüsü için yapılmalıdır. Diğer bir deyişle düzeltmeler, şekildeki S/N1 oranı değil, S/N2 oranı üzerinden yapılmalıdır.



Şekil 4.9 Römorkla serbest-geçiş metodunda çekici araç, römork ve her ikisinin toplam gürültü seviyelerinin konuma bağlı değişimleri [14]

4.2.6 Ses Yayılmı ve Yansımalar

Ses yayılımı rüzgar ve sıcaklıktan etkilenmektedir. Fakat 7.5 m mikrofon mesafesi için aşağıda belirtilen rüzgar hızı ve sıcaklık sınırlamaları dahilinde, bu etki dikkate değer olmamaktadır. 15 m mikrofon mesafesi için bu konularda sınırlamalar belirlenmemiştir [14].

Yol kaplamasının akustik yutuculuğundaki farklılıklar, ölçülen gürültü seviyesini önemli derecede etkilemektedir. Bu nedenle, gürültü ölçümleri için referans yol kaplaması tarifleyen ISO 10844 standardında, yol kaplamasının gözeneklilik miktarının % 8'in üzerinde olmaması ve/veya ilgili frekans aralığındaki akustik yutuculuk özelliğinin % 10'un üzerinde olmaması gerektiği belirtilmiştir [11] (Akustik yutuculuk katsayısının tespit edilmesi için yol kaplaması numunesinin empedans tübünde ölçülmesi gerekmektedir. Bu işlem karayolcular için alışılmadık bir yöntem olduğundan, yutuculuk katsayısı ile oldukça ilişkili olan gözeneklilik miktarı kullanılır. Gözeneklilik miktarının ölçülme yöntemi, sözü edilen ISO 10844

standardında açıklanmıştır.). 15 m mikrofon uzaklığı için yayılım mesafesi daha fazla ve gürültünün geliş açısı daha küçük olduğundan, akustik yutuculuğun etkisi 7.5 m uzaklık için olandan daha fazla olacaktır. Sonuç olarak, 7.5 m için ISO 10844'te belirlenen şartlar, 15 m uzaklık için akustik yutuculuk etkisini önlemede yeterli olmayacaktır.

Römork metodunda yapılan yakın mesafe ölçümlerinde de tam tersi bir problem söz konusudur: bu durumda akustik yutuculuk etkisi ölçülememektedir. Bu problem lastiklerin sınıflandırılmasında önemli bir etki yaratmamakta, fakat yol kaplamalarının sınıflandırılmasında farklılıklar doğurmaktadır.

Römork metodunda başka bir problem daha ortaya çıkmaktadır. Bu metotta genellikle, test lastiği ve mikrofon çevresinde, rüzgarın etkisini önleyecek bir rüzgar başlığı bulunur. Bu rüzgar başlığı kaçınılmaz olarak ses yansımalarına neden olur. Bu etkiyi test etmek için, rüzgar başlığı takılıken ve çıkartılarak ayrı ayrı ölçümler alınıp bulunan değerler karşılaştırılmalıdır.

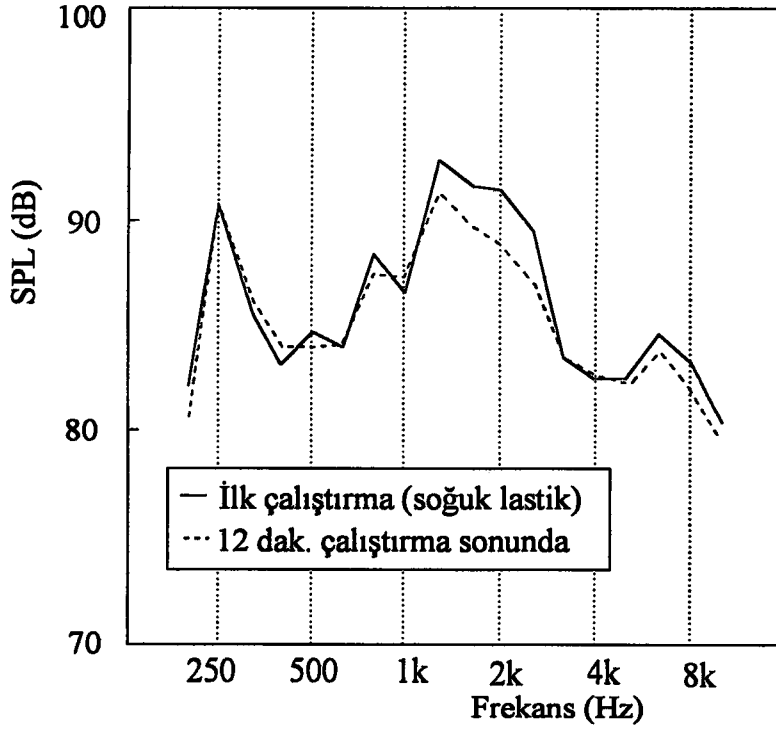
Ayrıca, yakın mesafe ölçümlerinde aks, süspansiyon veya lastik yakınındaki diğer parçalardan önemli bir yansıma olmadığından da emin olunmalıdır.

4.2.7 Rüzgar

Ölçüm yapılırken rüzgar hızı 5 m/s'den az olmalıdır. Daha yüksek hızlarda ses yayılımı etkilenmektedir ve daha önemli olarak, hava türbülansı sebebiyle düşük frekanslı (<100-500 Hz) bir mikrofon sesi oluşacaktır (uzak mesafe-sabit mikrofon ölçümlerinde).

4.2.8 Sıcaklık

Sıcaklık artışı lastiğin sertliğini azaltarak gürültü seviyesinin düşmesine neden olmaktadır. Genellikle, ortam sıcaklığın her 10°C artışı için lastik gürültüsü 1 dB(A) kadar azalmaktadır [14].



Şekil 4.10 Tambur üzerinde ısınma sürecinde gürültü spektrumu değişimi (70 km/h)[14]

Şekil 4.10'da, tambur üzerinde 70 km/h hızda dönen bir lastiğin, soğuk çalıştırılma ve 12 dakikalık ısınma süreci sonundaki gürültü frekans spektrumları karşılaştırılmıştır. Spektrumlar arasındaki farklılıktan, test ölçümleri öncesinde uygun bir ısınma sürecinin uygulanması gerektiği sonucu çıkmaktadır.

Sıcaklık etkisiyle ilgili diğer bir konu da, hangi sıcaklığın ölçülmesi gerektiğidir. Ses yayılımıyla ilgili olarak hava (ortam) sıcaklığı etkilidir. Gürültü oluşumu üzerindeki etki açısından ise lastik sıcaklığının dikkate alınması gerekir. Ancak lastik sıcaklığını ölçmek oldukça zordur (ölçüm yeri ve zamanı olarak). Yol kaplama sıcaklığı ise, lastik dişlerinin ısınmasına veya soğumasına sebep olarak lastik sıcaklığını etkiler ve ölçülmesi nispeten kolaydır. Sonuç olarak, test sıcaklığı ölçümlerinde, hava ve yol kaplama sıcaklıklarının dikkate alınmaları uygun olacaktır. Bu sıcaklıkların nasıl, ne zaman ve nerede ölçülecekleri ise lastik/yol gürültüsü ölçüm standartlarında açıkça belirtilmelidir. Çünkü ölçüm prosedürüne bağlı olarak 10°C'ye varan farklılıklar ortaya çıkabilir.

Ölçülen gürültü seviyelerinin belli bir referans sıcaklığa göre düzeltilmeleri veya müsaade edilen sıcaklık değerlerinin bir aralıkla sınırlandırılmasıyla, sıcaklık etkilerinin azaltılması sağlanabilir. Tip testleri için, hava sıcaklığının 10-30°C aralığında olması gerekir. Referans sıcaklığı olarak da 20°C alınabilir.

4.2.9 İklim

Sıcaklığın etkisini azaltmak ve yıl boyunca değişen iklim koşullarında ölçüm yapabilmek için, test yollarına ısıtma sistemleri yerleştirmek mümkündür. Böylelikle yol yüzeyi üzerindeki çığ veya yağmur ıslaklığının daha çabuk kuruması sağlanabilir.

4.2.10 Yön

Lastik/yol gürültü emisyonu, lastiğin arka ve özellikle de ön kısmında daha fazladır. Bu durum sebebiyle de, mikrofon konumu oldukça önemli bir değişkendir.

4.2.11 Mikrofon Konumu

Bu problem dört konudan oluşmaktadır: mikrofonun kaynağa uzaklığı, mikrofonun zeminden yüksekliği, lastiğe göre açısal konum ve yakın mesafe-uzak mesafe karşılaştırması.

4.2.11.1 Yakın mesafe - uzak mesafe : Uzak mesafe ölçümlerinde mikrofon, araçtan 5-50 m uzaklıkta ve yol kenarında konumludur. Yakın mesafe ölçümlerinde ise mikrofon, test lastiğinden en fazla 1 m mesafede ve araç üzerine monte edilmiş durumdadır. Gürültünün insanlar üzerinde rahatsızlık yarattığı duruma daha benzer olduğundan, uzak mesafe konumu tercih edilmelidir. Yakın mesafe ölçümlerinde ise, ölçüm değerlerinin uzak mesafe ölçümleriyle bire bir ilişkilendirilebileceği bir mikrofon konumu uygulanmalıdır.

4.2.11.2 Römork metodunda mikrofon konumu : Römork metodu kullanarak yapılmış geçmiş çalışmalarda çok çeşitli mikrofon konumları kullanılmıştır. ECE/GRRF/GRB ("Group of Rapporteurs of Brakes and Running Gear" and "Group of Rapporteurs on Noise" of the United Nations Economic Commission for Europe) tarafından 1986 yılında önerilen konum şu şekildedir:

- otomobiller için lastik yanağında 0.2m, kamyonlar için 0.4m dışarıdaki düzlem üzerinde
- zeminden 0.1m yükseklikte
- yuvarlanma yönüyle 135° açı yapacak şekilde lastik yanağına dönük [14]

Danovan [13] tarafından yapılmış olan bir çalışmada gerçekleştirilen ses şiddeti ölçümlerinde ise, temas yüzeyinin ön ve arka kısmında, lastik yanak düzleminden 100mm mesafede ve zeminden 60mm yükseklikte olan mikrofon konumları kullanılmıştır. Bu konumların kullanılma nedeni olarak, daha önceki çalışmaların sonuçlarından edinildiği üzere, lastik çevresindeki ses şiddeti seviyelerinin en yüksek olduğu konumların yaklaşık olarak bu noktalar olmaları belirtilmiştir. Lastiğe yakın mesafelerde mikrofon üzeri rüzgar sesinin artması, uzak mesafelerde ise lastik gürültü şiddeti seviyesinin azalması etkilerini dengelemek için, 100mm mesafe optimum konum olarak kabul edilmiştir. Zeminden yükseklik arttıkça gürültü şiddeti seviyesi azalmaktadır ancak, aşırı alçak konumlarda da mikrofon zarar görebileceğinden, uygulanabilir en düşük seviye olarak 60mm yükseklik kullanılmıştır.

ECE/GRRF/GRB tarafından önerilen açısal konumda mikrofon, lastiğin yan ve arka kısımlarının tam ortasında olacaktır. Uzak mesafe ölçümlerinde de en yüksek gürültü seviyesinin kaydedildiği anda mikrofondan araca olan doğrultu yaklaşık 90-135° olduğundan, 135° mikrofon açısı uygun bir açıdır.

Daha sonraki dönemlerde çeşitli araştırmacılar yaptıkları araştırmalar sonucunda 0°, 45°, 65°, 115°, 135°, 225° gibi değişik açılarının uygunluğunu öne sürmüşlerdir. Bu

Çalışmalardan, çeşitli lastikler için farklı aıların daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Genel olarak bakıldığında bu olasılıklar içerisinde en uygun aının 135° olduğu söylenbilir; çünkü lastiğin yan ve arka kısımlarının tam ortasında olduğu için pratik ve kolay uygulanabilir, uzak mesafe ölçümlerinin simüle ettiği için mantıklıdır ve römork üzerindeki rüzgar başlığı içerisinde az yer kaplamaktadır [14].

4.2.11.3 Mikrofon yüksekliği : Uzak mesafe ölçümlerinde mikrofonun yerden yüksekliği için her zaman 1.2 m uygulanmıştır. Daha yüksek bir konumun (5 m gibi) kullanılmasını etkileri ISO/TC43/SC1/WG33 tarafından detaylı olarak incelenmiştir. Böyle yüksek bir konum, zeminin kötü yansıtma etkilerini en aza indirdiğinden ölçüm sonuçlarını iyileştirmektedir. Ancak bunun yanında, olumsuz yanları da şunlardır; 1) 7.5 m ölçüm uzaklığıyla beraber uygulandığında böyle bir yükseklik, insanların trafik gürültüsünden rahatsız oldukları konumu temsil etmemektedir. Bu sebeple, yayılım ve yöne bağlı etkiler temsili olarak llemeyecektir. 2) Mikrofonu bu yüksekliğe monte etmek pratik değildir. 3) 1.2 m yükseklik 5 m ile değiştirildiği taktirde mevcut standartlarla karşılaştırma yapma imkanı ortadan kalkacaktır. Bu sebeplerden dolayı 1.2 m yükseklik halen tercih edilmektedir [14].

4.2.11.4 Mikrofonun kaynağa uzaklığı : Test yolu merkeziyle mikrofon arasındaki uzaklık olarak Avrupa'da 7.5 m, Amerika'da 15 m uygulanmaktadır. 15 m uzaklık, noktasal olmayan kaynakların söz konusu olduğu durumlarda daha avantajlıdır. Otomobil ve hatta daha büyük taşıtların noktasal kaynak olmadıkları açık olduğundan, bu uzaklığın önem kazandığı düşünülebilir. Ancak, yukarıda da değinildiği üzere, uzaklığın büyük olması durumunda fon gürültüsünün, ses yayılımının ve zemine bağlı akustik yutuculuğun yarattıkları etkiler artmaktadır. Sonuç olarak 7.5 m yerine 15 m uzaklığı tercih etmek toplamda avantaj sağlamayacaktır. Fakat Amerika'da, insanların trafik gürültüsünden rahatsız oldukları konumu daha iyi simüle ettiği için 15 m uzaklık kullanılmaya devam edilmektedir.

4.3 ÖLÇÜM METOTLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE KARŞILAŞTIRILMALARI

4.3.1 Amaçlar ve Gereksinimler

Ölçüm metotları, testlerin amaçlarına bağlı çeşitli gereksinimleri karşılamalıdır. Bu amaçlar şunlar olabilir:

A. İnceleme

- a. lastikleri sınıflandırmak
- b. yol kaplamalarını sınıflandırmak

B. Tip testi veya yasal değerlendirme

- a. lastikleri sınıflandırmak
- b. yol kaplamalarını sınıflandırmak

C. Araştırma

- a. lastik yapısını incelemek
- b. yol kaplama yapısını incelemek
- c. ses oluşum mekanizmalarını incelemek
(çoğunlukla a,b ve c birbiriyle ilişkilidir)

Bu amaçların gereksinimleri birbirlerinden oldukça farklıdır. Yasal değerlendirmeler ve kısmen de olsa inceleme amacıyla yapılan çalışmalar yol şartlarında uygulama, kesinlik ve tek tip metot gerektirirler, zor ve pahalı olmamalıdır. Buna karşılık, araştırma amacıyla yapılan testlerde karmaşık ve pahalı metotlar kullanılabileceği gibi, bu metotlar çok değişik şartlarda uygulanabilirler ve tek tip olmaları gerekmemektedir. Lastiklerin sınıflandırılması veya incelenmesi için standartlaştırılmış yol kaplaması, yol kaplamalarının sınıflandırılması veya incelenmesi içinse standartlaştırılmış lastiklere ihtiyaç vardır. Bu farklı gereksinimleri karşılamak için kullanılan metotlar çok çeşitlilik göstermektedir. Farklı metotların ölçüm

sonuçlarını karşılaştırılabilme imkanı sağlamak için de alet ve ekipmanlara büyük yatırım yapmak gerekmektedir.

Tip testi veya yasal değerlendirme amacıyla lastiklerin sınıflandırılması, özellikle önemli bir konudur. Bu amaç için kullanılacak metot, önem sırasına göre verilen şu gereksinimleri karşılamalıdır:

- gerçek yol gürültüsünü temsil etmeli
- adil ve kesin olmalı
- diğer metotlarla uyumlu olmalı
- basit ve pratik olmalı
- uygulama maliyeti düşük olmalı
- pahalı cihazlar gerektirmemeli

Lastiklerin gürültü oluşumlarına göre sınıflandırılmaları amacıyla kullanılabilen metotların en önemli dördünden yukarıda bahsedilmişti. Aşağıda ise bu metotların, yukarıda belirtilen gereksinimler dahilinde incelenmeleri yapılmıştır.

4.3.2 Serbest-geçiş metodu (coast-by method)

Bu metot, gerçek yol gürültüsünü en iyi temsil eden metottur. Bu metotla ölçülen gürültü seviyeleri, serbest akan trafikteki taşıtların tek başlarına oluşturdukları lastik/yol gürültülerinin hesaplanmasında doğrudan kullanılabilirler. Dolayısıyla metot adil sonuçlar verecektir. Yeterli sayıda ölçüm yapıldığı takdirde, elde edilen değerler aynı zamanda kesin güvenilir olacaktır.

ISO 362 ve 7188 gibi mikrofön önünden geçiş tipi metotlardan uyarlandığından, ilgili metotlarla uyum en iyi seviyededir. Bu metot otomobil ve kamyon lastikleri için aynı derecede uygundur.

Metot, uygulama olarak yaygındır, karmaşık değildir ve test taşıtı veya özel ölçüm cihazları gibi ilave ekipmanlar gerektirmez.

Bir dezavantaj olarak, test taşıtının tipi ve durumu test sonuçlarını etkilemektedir. Bu sebeple, taşıt tipi ve durumu için bazı sınırlamalar getirilmelidir (bkz.: 4.2.2 Taşıtın Etkisi).

Metodun bir diğer dezavantajı da, diğer metotlara kıyasla daha fazla test lastiğine ihtiyaç duyulmasıdır (otomobiller için 4, kamyonlar için 4-6). Bu da, lastiklerin balansı ve değiştirilmeleri için daha fazla iş gücü gerektirmektedir. Ancak, çok sayıda lastik kullanılması, otomatik olarak bu lastikler için ortalama bir değer verecektir ve yönün etkisinin de bir derece ortalaması alınmış olacaktır.

Çok gelişmiş doppler-kompanzasyon yöntemleri kullanılmadıkça, doppler etkisi sebebiyle dar-bant frekans analizi yapmak anlamlı değildir. 1/3 oktav frekans analizi için bir problem söz konusu değildir.

4.3.3 Laboratuvar tambur metodu

Ölçümler kapalı mekanda yapıldığından iklim ve hava şartlarından etkilenmemesi, bu metodun en önemli avantajıdır. Ancak en başta gelen dezavantajı ise, gerçek yol gürültüsünü temsil etmemesidir. Öncelikle gürültü, insanların bulunacakları uzak mesafede değil, yakın mesafede ölçülmektedir. Gürültünün yönü, mikrofonlarda ölçülen gürültünün, yol kenarında duyulandan farklı olmasına neden olabilir. Bunun yanında, tambur yüzeyi gürültü oluşumunu etkileyebilecek şekilde eğridir. Fakat, tambur eğriliğinin etkisinin oldukça önemsiz olduğu görülmüştür [7,14] (bkz.: 4.3.8 Lastik gürültüsünün laboratuvar şartlarında ölçümü). Ayrıca tambur yüzeyi, gerçek yol kaplamasına benzer bir yüzeyle kaplı olmalıdır.

Belirtilen bu problemler sebebiyle lastiklerin sınıflandırılması, serbest-geçiş metoduna kıyasla daha az adil olacaktır. Ancak bu metot, testle ilgili her şey kontrol edilebildiğinden, son derece kesin ve tekrarlanabilir sonuçlar verecektir. Ayrıca,

uzun zaman aralıkları için ortalama değerler alınarak, rastlantısal hatalar en aza indirilebilir.

Bu metoda ait oldukça önemi bir özellik de, yaygın olarak tüm tamburlar üzerinde standart bir kaplama malzeme kullanılabilmesi imkanıdır. Böylelikle, diğer tüm testlerle edinebileceklerden daha doğru lastik gürültüsü karşılaştırmaları elde etmek mümkündür. Yol testleri için ise bir referans yol kaplaması geliştirilmesi gerekmektedir (bkz.: 4.3.7 Referans yol kaplaması).

Tambur metoduna ait ufak bir dezavantaj da, tambur yüzeyine kolaylıkla zarar verdiği için çivili lastiklerin tambur üzerinde test edilememeleridir.

Diğer metotlarla uyum oldukça yetersizdir. Ölçülen değerleri, serbest-geçiş metoduyla ölçülenlerle doğrudan karşılaştırmak mümkün değildir. Buna karşılık, bu metot araştırma amaçlı çalışmalar için de çok uygundur (dar-bant frekans analizleri gibi). Fakat doğal olarak, yol kaplaması sınıflandırılması amacıyla kullanılması mümkün değildir.

Tambur üzerindeki ölçümler oldukça basit, pratik, süratli ve ayrıca masrafsızdır, fakat tambur düzeneğinin kendisi pahalıdır. Ancak, tüm lastik üreticileri, taşıt üreticilerinin çoğu, araştırma organizasyonlarının çoğu ve yetkili makamların bazılarında, bazı düzenlemeler sonucunda kullanılabilecek gerekli düzenekler zaten mevcuttur.

4.3.4 Römork metodu

Römork metodunun en başta gelen dezavantajları gerçek yol gürültüsünü temsil etmemesi ve fon gürültüsü probleimidir. Gürültü, insanların bulunacakları uzak mesafede değil, yakın mesafede ölçülmektedir. Lastik gürültüsünün mikrofona geliş yönü, mikrofonlarda ölçülen gürültünün, yol kenarında duyulandan farklı olmasına neden olabilir.

Ölçüm değerlerinin kesinliği açısından, römork metodu hemen hemen laboratuvar tambur metodu kadar iyidir. Test yolu yeterli uzunluktaysa, çok kısa sürede seri ölçümler alınabilir.

Laboratuvar tambur metodu hariç diğer metotlarla uyum oldukça düşüktür. Dar-bant frekans analizi uygulamak mümkündür.

Hassas ve periyodik olarak test edilmesi gereken pahalı ekipmanlar gerektirmesi, bu metodun bir dezavantajıdır. Eğer lastik ve mikrofonlar çevresinde muhafaza kullanılmışsa, akustik yansımalar ve fon gürültüsüne özellikle dikkat edilmesi gerekmektedir. 200 Hz'in altındaki frekanslar için yapılan ölçüm sonuçları, bu etkiler sebebiyle güvenilir olmamaktadır.

Römorkun yapısına bağlı olarak, serbest-geçiş metodu için gerekenden daha büyük bir alanda, dairesel veya dönüş yerleri geniş bir pist gerektirebilir.

Gereken düzenek mevcut olduktan sonra, ölçümler hızlı ve verimli bir şekilde alınabilmektedir. Laboratuvar tambur metodunda da olduğu gibi, aynı anda farklı bir kaç örnek lastiği test etmek mümkündür. Serbest-geçiş veya römorkla serbest-geçiş metotlarında ise, aynı anda bir tek tip lastik grubu test edilmektedir.

Test lastiği ve mikofon çevresinde muhafaza kullanıldığı takdirde fon gürültüsünün etkisi azalır. Ayrıca, test yolu çevresinde yansıma yapabilecek bina veya cisimlerin bulunmaması gereği de ortadan kalkar.

4.3.5 Römorkla serbest-geçiş metodu

Bu metot römork ve serbest-geçiş metotlarının bir birleşimi olduğundan, bu iki metodun özelliklerinin çoğuna sahiptir. Gerçek yol gürültüsünü temsil etme özelliği bakımından serbest-geçiş metodundan biraz kötü, fakat laboratuvar tambur ve römork metotlarından kesinlikle daha iyidir. Ölçülen değerler, serbest-geçişte

ölçülenlere oldukça yakın (normal olarak 1-4 dB(A) düşük), fakat çekici araçtan az da olsa etkilenmiş olacaktırlar [14].

Bu metot test taşıtının (römorkun) özellikleri ve durumundan, serbest-geçiş metoduna kıyasla daha az etkilenir, fakat gene de taşıtla ilgili bazı kısıtlama veya şartlar gerekmektedir. Bu durumun, bu metodun en önemli avantajı olduğu söylenebilir.

Ancak çekici taşıtın gürültüsü, ölçülen seviyeleri belirsiz miktarlarda etkileyeceğinden, ve gürültüsüz lastikler gürültülü lastiklerden daha fazla etkileneceklerinden, lastiklerin sınıflandırılması serbest-geçiş metoduna kıyasla daha az adil ve daha az kesin olacaktır. Çekici taşıtın gürültüsü, en yüksek gürültü seviyesinin olduğu anı değiştirebileceğinden, metodun tekrarlanabilirlik özelliği zayıftır.

Eğer çekici taşıtın gürültüsü için düzeltme yapmak istenirse, tek başına çekici taşıtın gürültüsünü saptayabilmek için fazladan, çok sayıda ölçüm yapmak gerekecektir.

Çok gelişmiş doppler-kompanzasyon yöntemleri kullanılmadıkça, doppler etkisi sebebiyle dar-bant frekans analizi yapmak anlamlı değildir. Eğer çekici taşıtla ilgili düzeltmeler, gelişmiş bir zamana bağlı spektrum kayıt sistemi kullanılmadan yapılıyorsa, çekici taşıtın herhangi bir andaki frekans spektrumu bilinemeyeceğinden, 1/3 oktav frekans analizi yapmak da anlamlı olmayacaktır. Ancak, böyle bir sistem de büyük miktarda yatırım ve tecrübeli personel gerektirecektir.

Serbest-geçiş metoduyla karşılaştırıldığında, bu metodun uygulama olarak basit ve pratik olmadığı açıktır ve diğer metotlarla uyum konusunda da daha zayıftır. Çekici taşıt ve römorkun dönüş mesafesi çok geniş olduğundan, bu metodu ancak özel pistlerde uygulamak mümkündür.

Bu metotta uzun bir römork çekme çubuğu kullanılması gerektiğinden, test lastikleri üzerindeki yükün minimum değeri kaçınılmaz olarak büyük olacaktır. Bu da,

otomobil lastiği gibi küçük lastiklerin uygun temsili yüklerle test edilmelerini imkansız kılabilir.

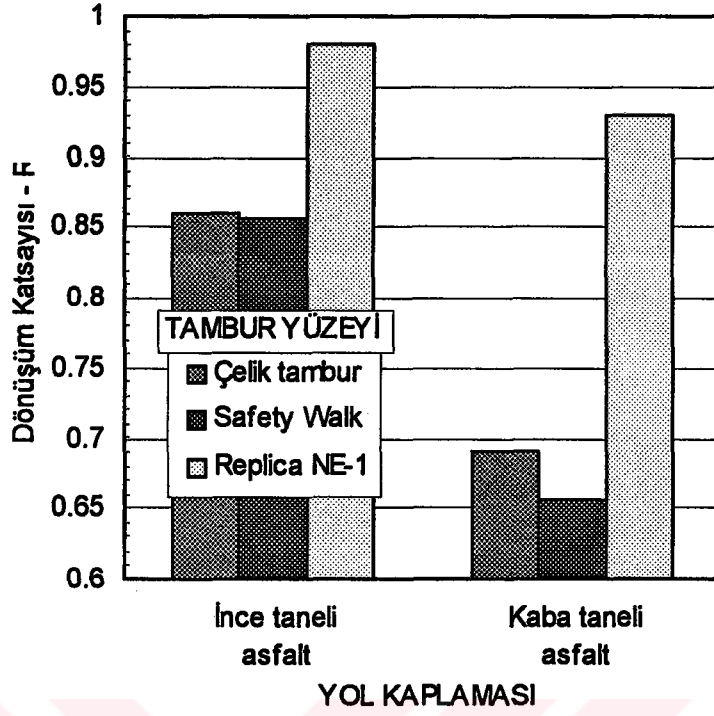
Römorkla serbest-geçiş metodunun ekonomik yönden avantajlı olmadığı görölmektedir. Çekici taşıtla ilgili düzeltmeler sebebiyle, diğer metotlara kıyasla çok daha fazla sayıda ölçüm yapmak gerekmektedir. Az sayıda test lastiği gerektirmesi özelliğine rağmen bu metot, toplamda daha verimsiz olacaktır. Ayrıca, özel bir römork, çekici aracın lastikleri için rüzgar başlıkları ve çok sessiz çekici taşıt lastikleri gerektirmektedir. Bunun yanında, gelişmiş bir zamana bağlı spektrum kayıt sistemi için yatırım yapmak da gerekebilir. Son olarak, römorkun yapısı sebebiyle, serbest-geçiş metodu için gerekenden daha büyük bir alanda, dairesel veya dönüş yerleri geniş bir pist gerektirmektedir.

4.3.6 Metotlar arasında dönüşüm ve ilişkiler

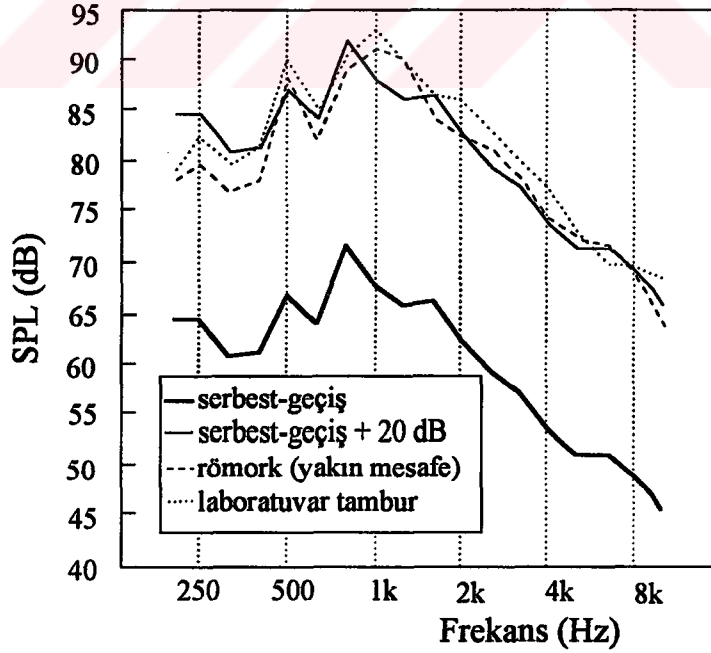
ECE/GRRF/GRB tarafından yapılan çalışmanın temel bölümü olarak, serbest-geçiş, römork ve laboratuvar tambur metotları arasındaki ilişkiler üzerinde kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, metotlar arasındaki ilişkiler aşağıdaki kriterleri sağlamalıdır:

- Lastiklerin, A-ağırlıklı gürültü seviyelerine göre sıralanmaları her metotta aynı olmalıdır (diğer bir deyişle, her iki metot arasındaki dönüşüm katsayısı yüksek olmalıdır)
- Frekans spektrumları şekilsel olarak benzer olmalıdır
- Metotlara ait değerler arasında çevrim, belli bir katsayının eklenmesiyle sağlanabilmelidir

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de ilk iki durum incelenmiştir. Şekil 4.11, belli bir sayıda lastik için çeşitli hızlarda, laboratuvar tambur metodu ile serbest-geçiş metoduna ait ölçüm değerleri arasındaki dönüşüm katsayılarını göstermektedir.



Şekil 4.11 Laboratuvar tambur metodu ve serbest-geçiş metoduyla, belli bir sayıda lastik için çeşitli hızlarda elde edilen ölçüm değerleri arasındaki dönüşüm katsayıları [14]



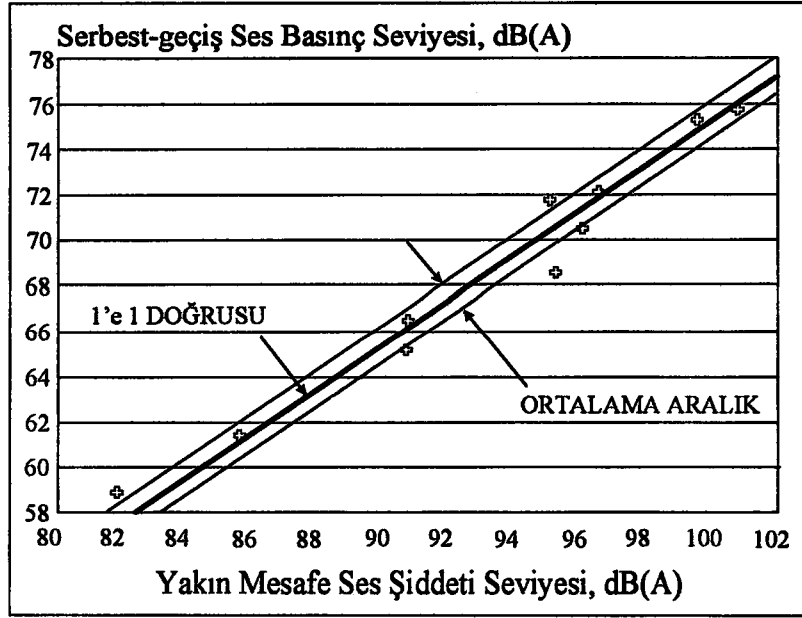
Şekil 4.12 Aynı lastik için üç farklı metotla elde edilen frekans spektrumlarının karşılaştırılmaları [14]

Tambur üzerinde çok farklı üç yüzey, ve serbest-geçiş ölçümlerinde ise çok farklı tipte iki yol kaplaması kullanılmıştır. Sadece ince taneli asfalt kaplamasıyla “replica NE-1” tipi tambur yüzey kaplaması kullanıldığı durumlar arasında yüksek bir dönüşüm katsayısı elde edilmiştir. Kaba taneli asfalt kaplaması için dönüşüm katsayılarının daha düşük olduğu görülmektedir [14].

Şekil 4.12, aynı lastik için üç farklı metotla elde edilen frekans spektrumlarının karşılaştırılmalarını vermektedir. Sonuç olarak, benzer yüzeyler kullanıldığı ve hata oluşumları engellendiği takdirde, her üç metotla da benzer sonuçlar elde edilebileceği görülmektedir. Bu ölçümler, önceden belirtilen ECE/GRRF/GRB önerisine uygun mikrofon konumları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4.3.6.1 Yakın mesafe ses şiddeti seviyesi - serbest-geçiş ses basınç seviyesi ilişkisi : Donavan [13] tarafından yapılan bir çalışmada ise, taşıt üzerinde yakın mesafede ölçülen "ses şiddeti" değerleriyle, sabit hızda serbest-geçiş yapan bir taşıt için yol ekseninden 7.5m mesafede ölçülen "ses basınç" seviyeleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Gürültü şiddeti seviyesi lastiğin çok yakınından, temas yüzeyinin ön ve arka kısmında, lastik yanak düzleminde 100 mm mesafede ve zeminden 60 mm yükseklikte ölçülmüştür. Lastik-yol gürültüsünü taşıt üzerindeki diğer gürültü kaynaklarının etkilerinden arındırmak için, iki-mikrofonlu "ses şiddeti" ölçüm metotları kullanılmıştır. Bu şekilde uygulanan ses şiddeti ölçümlerinde, hareketli ölçüm sebebiyle ölçülen değerlerde bir miktar hata oluşmaktadır. Ancak, diğer alternatif olan ses basınç seviyesi ölçümleriyle karşılaştırıldığında, ses şiddeti ölçümleri ses kaynağının yerini daha kesin bir şekilde belirleyebilme imkanı sağlamakta ve rüzgardan kaynaklanan fon gürültüsünün etkisini ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca, ses şiddetinin yönü, ses basıncının ses şiddetine oranı ve bu ikisi arasındaki ilişkiyi kullanma imkanı tanınması, ses şiddeti ölçüm metotlarını tercih edilir kılacaktır.

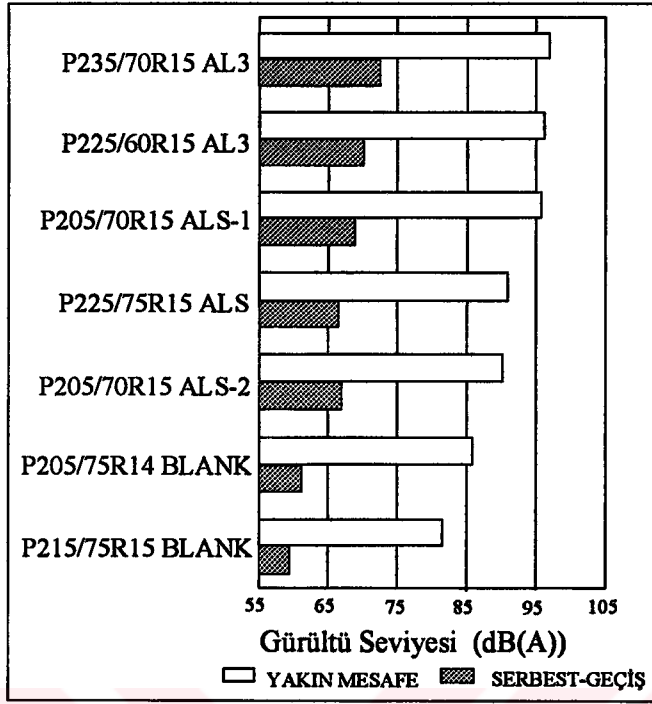
Yapılan testlerde iki adet otomobil ve yedi değişik tipte lastik kullanılmıştır. Ölçümler 56 ve 80 km/h olarak iki farklı hızda gerçekleştirilmiştir.



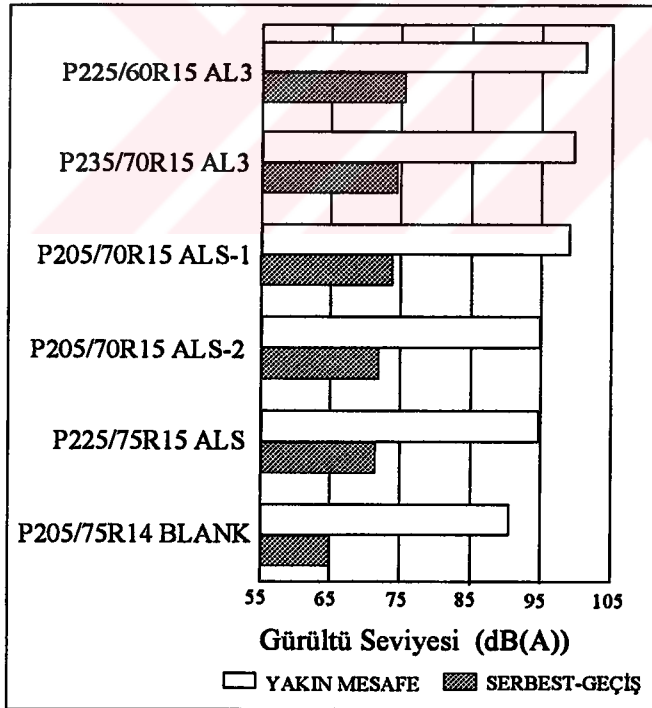
Şekil 4.13 56 & 80 km/h hızlarda, yakın mesafe ses şiddeti ve serbest-geçiş ses basınç seviyelerinin karşılaştırılması [13]

Tüm lastikler için her iki hızda elde edilen, serbest-geçiş A-ağırlıklı ortalama ses basınç seviyeleri ve taşıt üzerinde yakın mesafede ölçülen ses şiddeti seviyeleri, Şekil 4.13'te grafik üzerinde karşılaştırılmıştır. İki veri grubu arasında 1'e 1 doğrusal bir ilişki bulunduğu açıkça görülmektedir.

Yakın mesafe ve serbest-geçiş A-ağırlıklı ses basınç seviyeleri arasında büyük yakınlık olduğu, Steven ve Sandberg-Ejmont tarafından da belirtilmiştir [13]. Steven yaptığı çalışmada, hareket eden lastiğin 0.5 m yanında ve sabit geçiş için 7.5 m mesafede, 50 km/h'ın üzerindeki hızlarda ölçülen ses basınç seviyeleri arasında 1'e 1 ilişkisi olduğunu bulmuştur. İki farklı durumun ses seviyeleri arasındaki fark, yol yüzeyine bağlı olarak 17.3 ile 20.7 dB(A) arasında değerler almıştır. Sandberg ve Ejmont ise, taşıt üzerinde 0.2 m mikrofon mesafesi kullanarak yaptıkları ölçümlerinde, yakın mesafe ve serbest-geçiş arasında, bir grup lastik ve yol kaplaması için ortalama 20 dB(A) seviye farkı bulmuşlardır. Önceki bu iki çalışmanın sonuçları üzerinde, mikrofon mesafelerindeki farklar için gereken düzeltmeler yapıldığında, Şekil 4.13'te belirtilen 24.7 dB(A) seviye farkıyla uyumlu oldukları görülmektedir.



(a) 56km/h

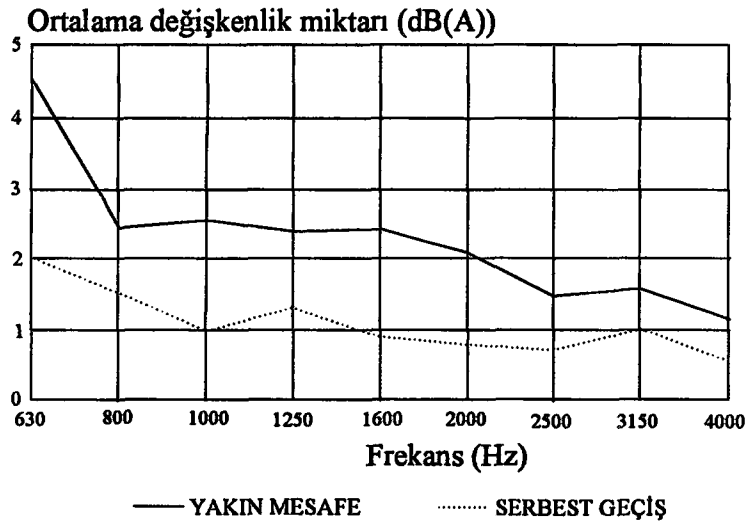


(b) 80km/h

Şekil 4.14 Yakın mesafe ve serbest-geçiş ölçümlerine göre, lastik-yol gürültü seviyelerinin 56 ve 80 km/h hızlarda karşılaştırılmalı sıralanmaları [13]

Yakın mesafe ve serbest-geçiş metotları arasındaki bir diğer önemli konu da, lastiklerin lastik-yol gürültüsü seviyelerine göre sıralanmalarındaki benzerliktir. Donavan tarafından yapılan çalışmada elde edilen, lastiklerin 56 ve 80 km/h hızlardaki gürültü seviyelerinin karşılaştırılmalı sıralanmaları, Şekil 4.14'te verilmiştir. Bu sıralamalardaki tek farklılık, 56 km/h hız değeri için, P225/75R15 ALS lastiğinin P205/70R15 ALS-2 lastiğinden yakın mesafe ölçümüne göre 0.2 dB(A) gürültülü, serbest-geçiş ölçümüne göre 0.3 dB(A) sessiz olmasıdır. Bu tek durum hariç tutulursa, tüm lastikler için sıralamaların her iki metotta da aynı olduğu kabul edilebilir.

Donavan, yaptığı çalışmada ayrıca, tüm lastiklerin yakın mesafe ve serbest-geçiş metotlarında elde edilen 1/3 oktav bant frekans spektrumlarını, iki test aracı ve iki hız için karşılaştırmıştır. Her iki metotta elde edilen sonuçların, bir kaç küçük nokta dışında oldukça benzer oldukları görülmüştür. Şekil 4.15'te, bu spektrumlardan elde edilen, 1/3 oktav bant frekans değerlerindeki ortalama değişkenlik miktarları verilmiştir. Şekilden, yakın mesafe ses şiddeti değerlerinin, serbest-geçiş değerlerine kıyasla daha az değişkenlik gösterdikleri görülmektedir. Bunun sebepleri, yakın mesafe ölçümlerinin kararlı yapıda olması ve serbest-geçiş ölçümlerinde rüzgar ve sıcaklık gibi çevresel faktörlerin değişken etkileridir.

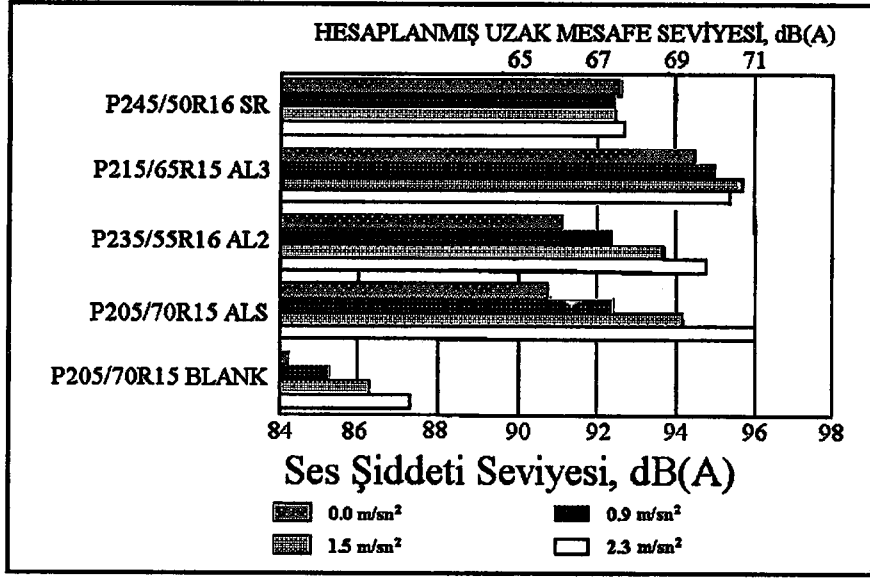


Şekil 4.15 Çok sayıda yakın mesafe ve serbest-geçiş testi için, 1/3 oktav bant seviyelerinin ortalama değişkenlik miktarları [13]

Donavan'ın yaptığı çalışmanın devamı sayılabilecek bir çalışma daha yapılmıştır (Bolton ve diğ. [19]). Bu çalışmada da benzer şekilde, yakın mesafe ses şiddeti seviyesi - serbest-geçiş ses basınç seviyesi ilişkisi incelenmiştir. Beş farklı test aracıyla, 14 ayrı test bölgesinde çok sayıda ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ölçümler hem ISO hem de SAE standartlarına [11,16] uygun zeminler üzerinde alınmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Danovan tarafından yapılan çalışmanın sonuçlarını desteklemektedir.

4.3.6.2 İvmeli geçiş (pass-by) gürültü seviyesi içindeki lastik-yol gürültüsü miktarı : Donavan yaptığı çalışmasında ayrıca, ivmelenen bir taşıt üzerinde yakın mesafeden alınan ses şiddeti ölçümleriyle, 7.5 m mikrofon mesafesinden ölçülecek ivmeli geçiş ses basınç seviyeleri arasındaki ilişkiyi tariflemiştir. Bu şekilde, ISO 362 veya benzeri ivmeli geçiş prosedürlerine göre ölçülen gürültü seviyeleri içindeki lastik-yol gürültüsü miktarını hesaplamak mümkündür. Bunun için öncelikle, uzak mesafe gürültü seviyelerine tüm lastikler etki ettiğinden, tork uygulanan ve uygulanmayan lastiklerin yakın mesafe gürültü seviyeleri ayrı ayrı ölçülür ve ortalamaları hesaplanır. Tork uygulanan lastikler için ölçülen ses şiddeti seviyeleri Şekil 3.16'da verilmişti. Bu seviyelerin tork uygulanmayan diğer lastik gürültüleriyle ortalamaları, ve bu ortalama seviyelerin 7.5 m'den ölçülecek ivmeli geçiş ses basınç seviyeleri içindeki tahmini miktarları ise Şekil 4.16'da gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, yakın mesafede ölçülen ses şiddeti seviyelerinin ortalamalarından yaklaşık 25 dB çıkartarak, lastik gürültüsünün ivmeli geçiş (pass-by) seviyesi içindeki miktarı bulunabilir.

Lastiklerin Şekil 4.16'da gösterilen ivmeli geçiş (pass-by) seviyesi içindeki miktarları kullanılarak, lastik gürültüsünün etkisi daha gerçekçi olarak değerlendirilebilir. Sadece serbest-geçiş (coast-by) gürültü seviyeleri kullanılarak yapılacak lastik gürültüsü değerlendirmeleri yeterli olmayacaktır. Çünkü Şekil 4.16'ya bakıldığında, sabit hız gürültü seviyesini azaltmak için dört mevsim lastiği (P205/70R15 ALS) en sessiz lastik olarak seçilecektir. Ancak, ivmelenme durumundaki lastik-yol gürültüsü azaltılmak istendiğinde, hız lastiği (P245/50R16 SR) en az diğer lastikler kadar veya çok daha iyi performans gösterecektir (profilsiz lastik hariç).



Şekil 4.16 56 km/h hızda tork uygulanan ve uygulanmayan lastikler için yakın mesafede ölçülen ses şiddeti seviyelerinin ortalamaları ve bu lastik gürültü seviyelerinin ivmeli geçiş (pass-by) seviyesi içindeki miktarları [13]

4.3.7 Referans yol kaplaması

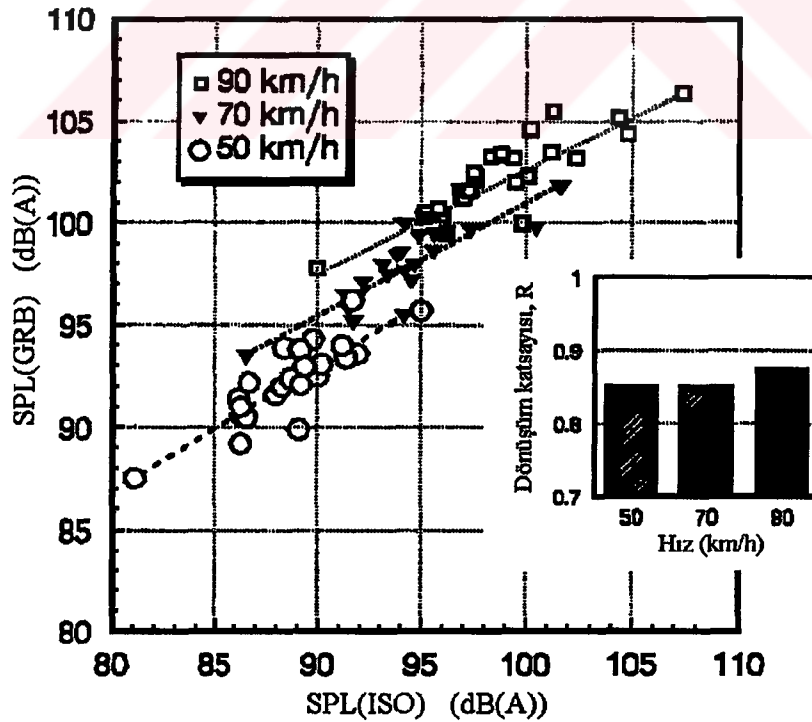
Yol kaplaması, lastik/yol gürültüsü seviyesini en az lastik tipi kadar etkilemektedir. Dolayısıyla, lastik gürültü seviyesi ölçümü için kullanılacak metotlarda, ölçümlerin üzerinde yapılacağı özel bir referans yol kaplaması belirtilmelidir. Bu problem ECE/GRRF/GRB grubunun 80'lerin ortalarında gerçekleştirdiği çalışmalarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır ve sonuç olarak, biri ince-taneli (düzgün asfalt), diğeri kaba-taneli (pütürlü asfalt) olmak üzere iki tip referans yüzey tariflenmiştir [14].

İki farklı yol kaplaması tanımlanmasının sebebi, iki temel gürültü oluşum mekanizmasının varolmasıdır. Bu mekanizmalardan birincisi (lastik titreşimleri) genel olarak orta ve düşük frekanslarda ve daha çok kaba taneli asfalt üzerinde, diğeri ise (hava pompalama) genel olarak orta ve yüksek frekanslarda ve daha çok düzgün asfalt üzerinde oluşmaktadır. Dolayısıyla, lastik gürültüsü optimize edilirken her iki mekanizma, yani her iki yol kaplamasıyla olan etkileşim de gözönüne alınmalıdır.

Kaba taneli asfalt çoğu ülkede yaygın değildir. Bu sebeple, lastik gürültüsü ölçüm standartlarında bu kaplama tipini zorunlu referans olarak göstermek uygun görülmemiştir.

1993 yılında sonuçlanan ISO/TC43/SC1/WG27 çalışması sonucunda ise, ISO 362 ve ISO 7188 gibi "toplam taşıt gürültüsü" ölçüm testlerinde kullanılması amacıyla, ISO 10844 standartıyla belirtilen yol kaplaması geliştirilmiştir [11]. Bu yol kaplamasının akustik yutuculuk özelliği düşüktür ve motor-aktarma organları gürültüsünü etkilemeden lastik gürültüsünü "minimize" etmektedir.

ISO 10844'le belirtilen yol kaplaması (ISO yüzeyi), ECE/GRRF/GRB çalışmasında hedeflenen yol kaplamasıyla (GRB yüzeyi) tamamen zıt özelliktedir. ECE/GRRF/GRB çalışmasının amacı, lastiklerin gerçek trafik içerisindeki gürültü emisyonlarına göre sıralanmalarını sağlayacak yol kaplamaları tariflemektir.



Şekil 4.17 ISO ve GRB yüzeyleri üzerinde oluşan lastik gürültüsü seviyelerinin karşılaştırılmaları [14]

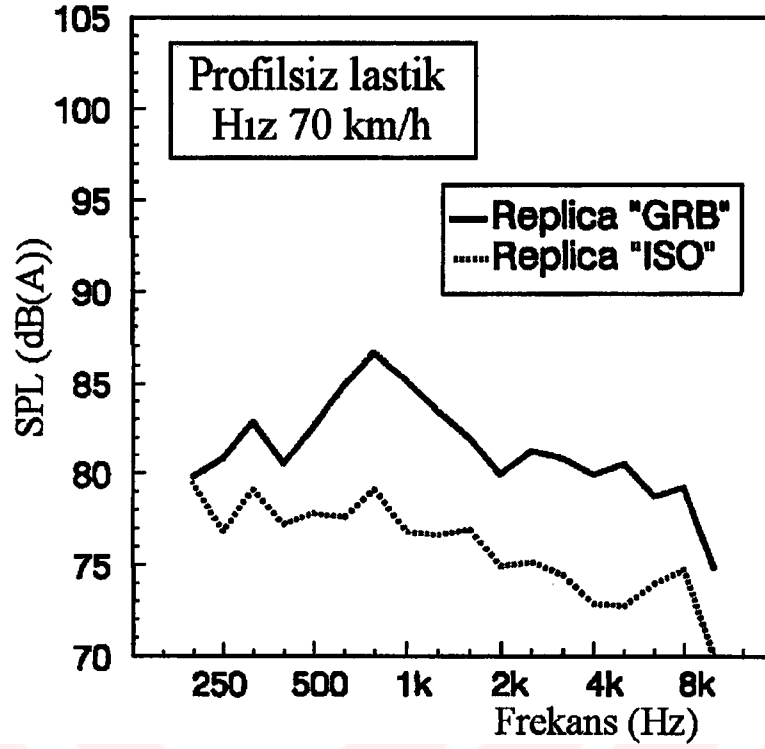
Şekil 4.17’de, bu iki yüzey üzerinde oluşan lastik gürültüsü seviyelerinin karşılaştırılmaları verilmiştir [14]. Ölçümler yaklaşık 20 adet, farklı tipte lastik için, ISO ve GRB yüzeyleriyle kaplı tambur üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekilden, ISO yüzeyinin daha sessiz olduğu görülmektedir. İki yüzey arasındaki dönüşüm seviyesinin genel olarak iyi olduğu söylenebilir fakat, ISO yüzeyi üzerinde yapılan gürültü seviyesi sıralamalarında bazı lastikler yanlış değerlendirileceklerdir.

Ayrıca, ISO yüzeyi, gürültü aralığını genişletmektedir. GRB yüzeyiyle karşılaştırıldığında, bu yüzey üzerinde sessiz lastikler daha sessiz, gürültülüler ise daha gürültülü olmaktadır. Bu durum, daha detaylı olarak Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’dan incelenebilir. Bu şekillerde, sınır özelliklere sahip iki lastik, bu iki yüzey üzerinde karşılaştırılmıştır.

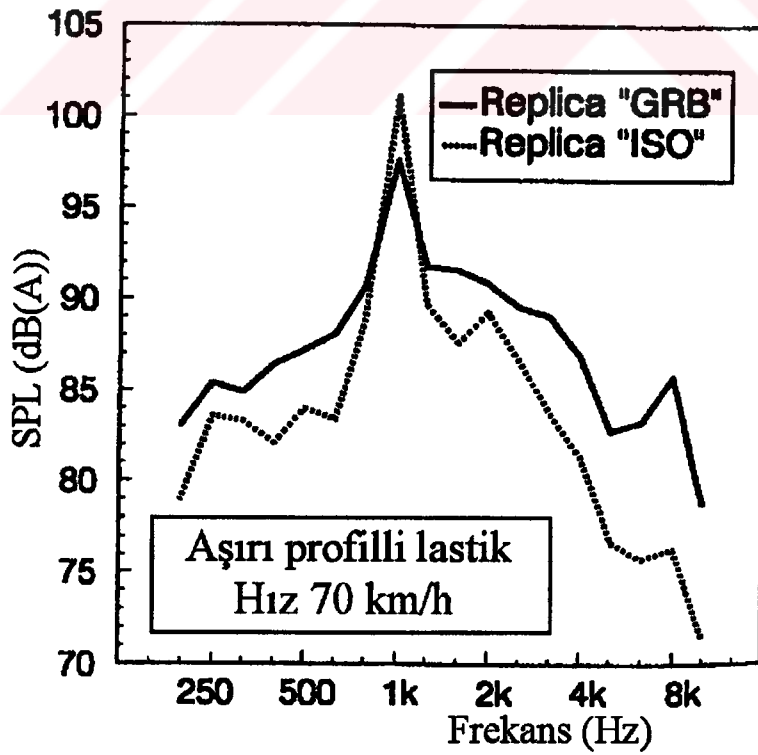
Şekil 4.18’de profilsiz bir lastiğin frekans spektrumları görülmektedir. Bu lastik ISO yüzeyi üzerinde çok daha sessizdir. Bunun sebeplerinden biri, ISO yüzeyinin daha ince taneli yapıda olması ve dolayısıyla, düşük frekanslı lastik titreşim etkisinin daha az olmasıdır. Ancak, bu durumun asıl açıklaması, ISO yüzeyinin “negatif” yapıda olması, yani yüzey üzerindeki girintilerin, çıkıntılardan daha belirgin olmasıdır. Bu yapının iki avantajı vardır: (1) radyal titreşim etkisi fazla değildir ve (2) yüzey üzerindeki girintiler hava pompalama etkisini azaltır.

Şekil 4.19’da ise, aşırı profilli bir lastiğin frekans spektrumları verilmiştir. Bu lastik ISO yüzeyi üzerinde, profil deseni frekans değeri için daha gürültülüdür. Bunun sebebi ISO yüzey kaplamasının düzgün yapısıdır. Pürüssüz yüzeyler, aşırı profilli lastiklerin düzensiz yapısının etkisini ortadan kaldıramaz. Pürüzlü yüzeyler üzerinde, aşırı profilli lastikler bazı durumlarda en sessiz özellikte olabilirler.

Böylece, ISO yüzeyi aşırı profilli lastiklerin gürültüsünü arttırmakta ve profilsiz lastiklerin gürültüsünü azaltmaktadır. Sonuç olarak, ISO yüzeyi lastik gürültüsü oluşumu bakımından tipik yol kaplamalarından farklı özellikler göstermektedir.



Şekil 4.18 Profilsiz bir lastiğin ISO ve GRB yüzeyleri üzerindeki frekans spektrumları [14]



Şekil 4.19 Aşırı profilli bir lastiğin ISO ve GRB yüzeyleri üzerindeki frekans spektrumları [14]

Laboratuvar tambur metodunda düz çelik yüzey veya kaba taneli zımpara benzeri "safety walk" yüzeyler sıkça kullanılmaktadır. Fakat bu yüzeyler üzerinde lastik gürültüsü, normal yol kaplaması üzerindeki tamamen farklı türde bir mekanizmayla oluşmaktadır. Dolayısıyla bu yüzeyler, lastiklerin gürültü seviyelerine göre sıralanmalarına yönelik çalışmalar için uygun değildir. Ancak, araştırma çalışmalarında kullanılabilirler.

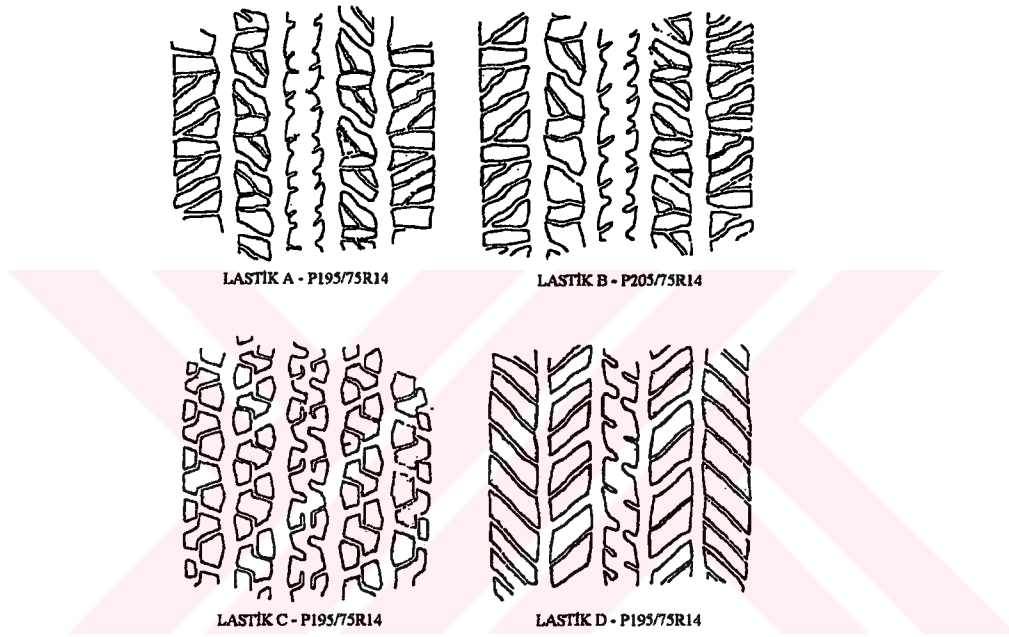
Tablo 4.1 Test planı özeti [7]

Yüzey Eğriliğinin Etkilerinin İncelenmesi İçin				
3M 80-grit Safety Walk kaplı 1.7, 3.0 ve 3.6 m çaplı tamburlar üzerinde				
	Lastik A P195/75R14	Lastik B P205/75R14	Lastik C P195/75R14	Lastik D P195/75R14
Hız (km/h)	48,64,80	80	80	80
Yük (N)	3120,4670,6220	4670	4670	4670
Basınç (kPa)	180,220,240	220	220	220
Yüzey Dokusunun Etkilerinin İncelenmesi İçin				
yıpranmış ve yeni 80-grit Safety Walk kaplı ve çıplak 1.7 m çaplı tambur üzerinde				
Hız (km/h)	48,64,80	80	80	80
Yük (N)	3120,4670,6220	4670	4670	4670
Basınç (kPa)	180,220,240	220	220	220
ince taneli asfalt, kaba taneli asfalt ve yeni 3M 80-grit Safety Walk kaplı yol üzerinde				
Hız (km/h)	48,64,80	...	...	...
Yük (N)	4670	...	...	...
Basınç (kPa)	220	...	...	...

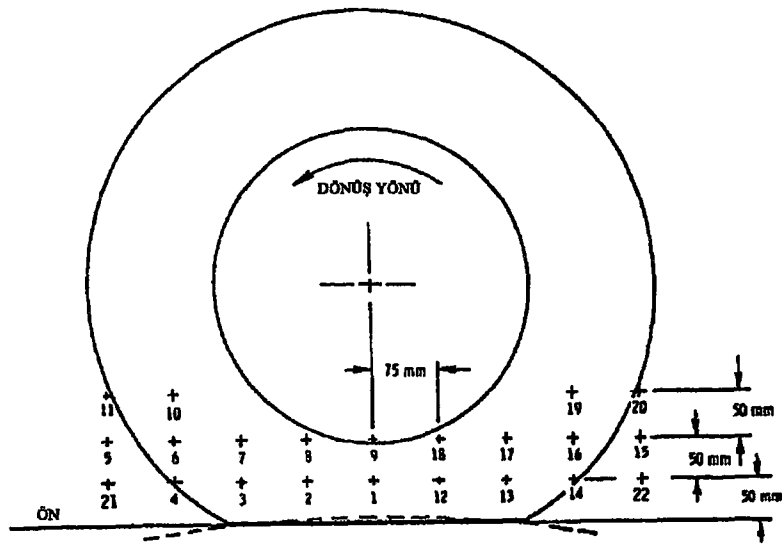
4.3.8 Lastik gürültüsünün laboratuvar şartlarında ölçümü

Donovan ve Oswald tarafından, yüzey eğriliği (tambur çapı) ve yüzey dokusunun etkilerinin incelenmesi için bir dizi karşılaştırmalı deney yapılmıştır [7]. Yapılan deneylerin test planı Tablo 4.1'de, kullanılan test lastiklerin statik izleri ise Şekil 4.20'de görülmektedir. Bu çalışmada, fon gürültüsü ve akustik yansıma etkilerini

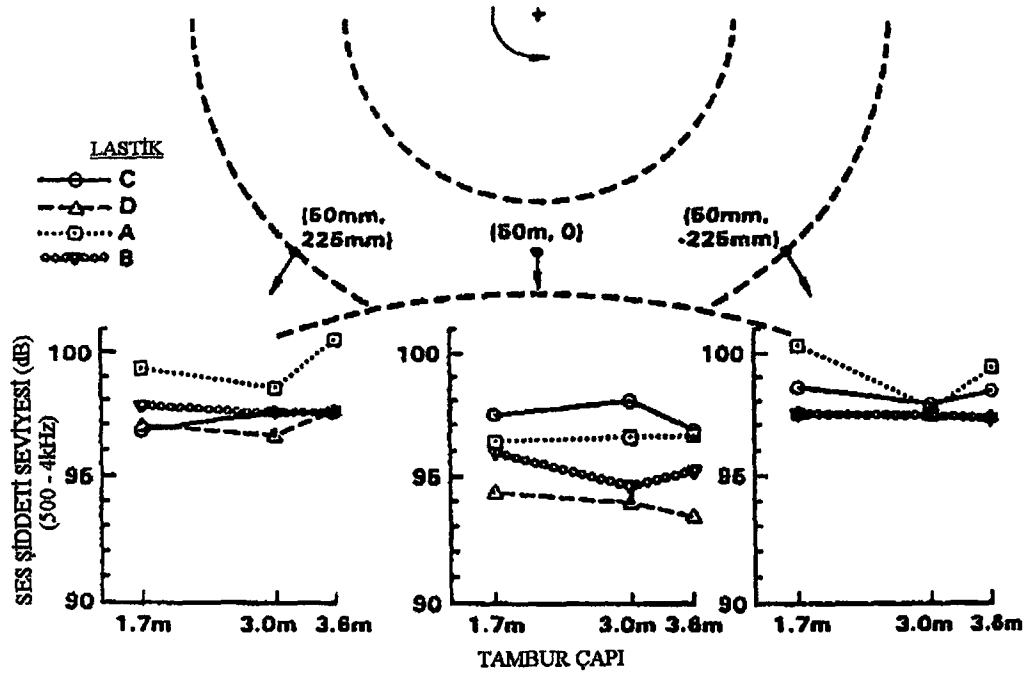
ortadan kaldıran Cross-spektral “ses şiddeti” ölçme metodu kullanılmıştır. Ses şiddeti ölçümleri Şekil 4.21’de görülen noktalarda, lastik düzleminden 10 cm uzaklıktaki ölçme düzlemi üzerinde yapılmıştır. Özellikle yol testlerinde düşük frekanslarda hassas ölçüm değerleri elde etmek zor olduğu için, alt frekans sınırı olarak 500 Hz seçilmiştir. Toplam ses şiddetinin değeri, yüzeyin 50 mm üzerinde temasa giren, temastan çıkan ve lastik merkezinde olmak üzere üç noktada gösterilmiştir.



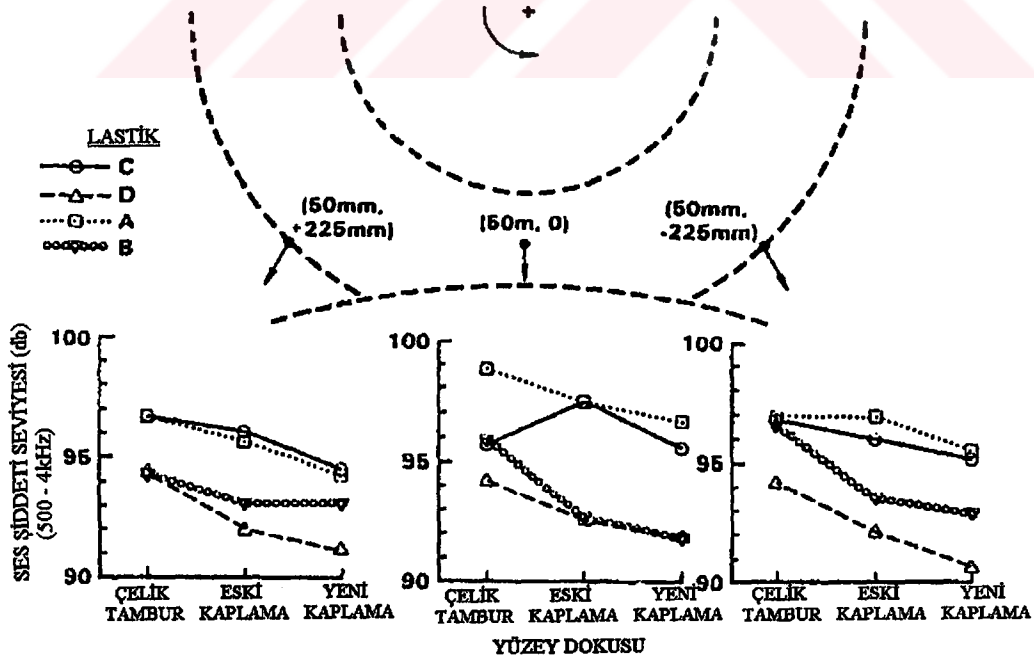
Şekil 4.20 Test lastiklerinin statik izleri [7]



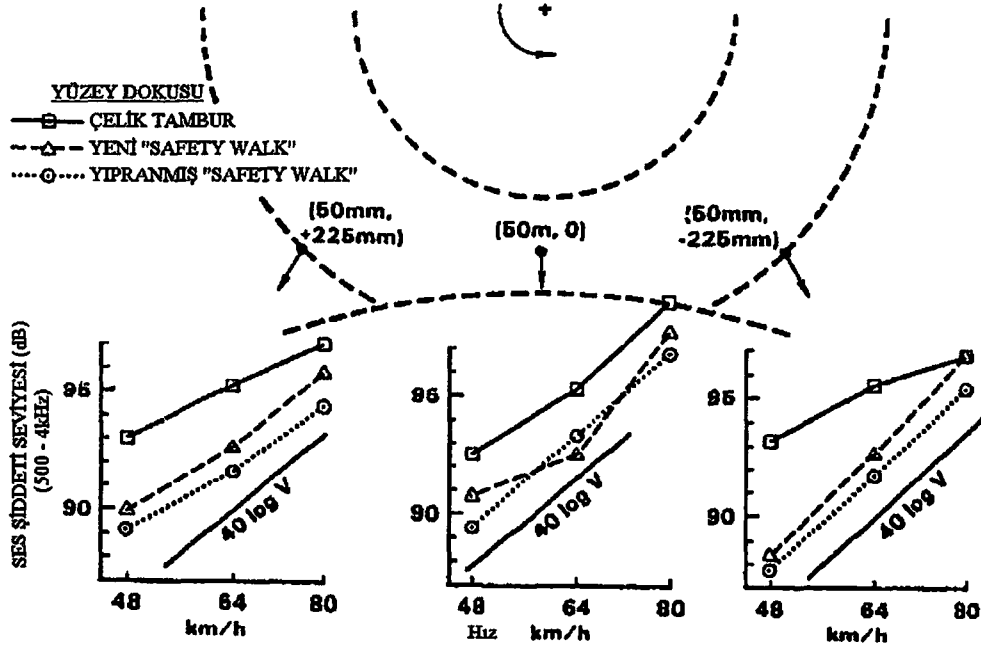
Şekil 4.21 Akustik ses şiddeti ölçüm noktaları [7]



Şekil 4.22 Yüzey eğriliğinin toplam ses şiddeti seviyesi üzerindeki etkisi; dört farklı lastik için (80 km/h, 4670 N, 220 kPa) [7]



Şekil 4.23 Yüzey dokusunun toplam ses şiddeti seviyesi üzerindeki etkisi; 1.7 m çaplı tambur üzerinde dört farklı lastik için (80 km/h, 4670 N, 220 kPa) [7]



Şekil 4.24 Hızın toplam ses şiddeti seviyesi üzerindeki etkisi; 1.7 m çaplı tambur üzerinde üç farklı yüzey dokusu için (Lastik A, 4670 N, 220 kPa) [7]

Şekil 4.22’de yüzey eğriliği (tambur çapı)’nın ses şiddeti üzerindeki etkisi verilmiştir. Şekilden, yüzey eğriliği etkisinin farklı lastikler için farklı türde ve düzensiz, fakat genel olarak oldukça az olduğu görülmektedir.

Şekil 4.23’te 1.7 m çaplı tambur üzerinde üç ölçüm noktasında, yüzey dokusunun fonksiyonu olarak toplam ses şiddeti seviyesindeki değişimler görülmektedir. Çelik tamburdan 80-grit Safety Walk (kaba taneli zımpara benzeri yüzey kaplaması) kaplanmış tambura gidildikçe, yani yüzey pürüzlülüğü arttıkça, hemen hemen tüm lastik türleri ve ölçüm noktalarında, toplam gürültü seviyesinde önemli düşüş görülmektedir. Sessiz lastiklerde bu etki daha fazla olmaktadır (yaklaşık 5 dB(A)).

Şekil 4.24’de ise, A lastiği için farklı yüzey dokuları üzerinde, hızın toplam gürültü seviyesine etkisi görülmektedir. Hız arttıkça gürültü seviyesi belirgin bir şekilde artmaktadır ve Safety Walk yüzey için dB(A) olarak gürültü artışı, yaklaşık olarak hız artışının logaritmasının 40 katıdır.

Tambur üzeri ölçümleriyle aynı teknikler kullanılarak, yüzey dokusunun yol üzerindeki etkisi de incelenmiş ve tamburda elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Yolda ölçülen yüzey dokusunun etkisi, nitelik yönünden tamburda ölçülen etkiye oldukça benzemektedir. İnce taneli asfalt en düşük ses şiddetini verirken, kaba taneli asfalt ve Safety Walk yüzeyin ses şiddeti seviyelerinin birbirlerine çok yakın oldukları görülmüştür. Yol üzerinde ölçülen değerlerle 1.7 m çaplı Safety Walk tamburda ölçülenler arasında da fazla farklılık yoktur. Ancak yol ve tambur ölçüm sonuçlarının frekans analizleri arasında önemli spektral farklar vardır. Bunun sebebi büyük ölçüde yol üzerinde bulunan makro yapıdır.

4.3.9 Ses Şiddeti Ölçüm Metodu

Yukarıda bahsedilen bazı çalışmalarda, lastik gürültüsü ölçümü için "Ses Şiddeti" ölçüm metodu kullanılmıştır (Donovan [13], Donovan ve Oswald [7]). Bu metod kullanılarak, serbest-geçiş ve ivmeli geçiş testlerinde ölçülen toplam gürültü seviyesi içindeki lastik-yol gürültüsü miktarı tespit edilebilmektedir. Ses şiddeti ölçüm metodu, ses kaynağının yerini belirleme imkanı sağlamakta ve tek mikrofona ölçümlerde oluşan, rüzgardan kaynaklı fon gürültüsü etkisini ortadan kaldırmaktadır. Bu sebeple, özel taşıt uygulaması veya römork düzeneği gerektirmeden, her türlü taşıtta uygulanması mümkündür.

Tüm bu özellikleri gözönünde bulundurulduğunda, standart bir lastik-yol gürültüsü ölçüm metodu geliştirilirken, ses şiddeti ölçüm metodu da uygulanabilir bir alternatif olarak dikkate alınmalıdır.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMA

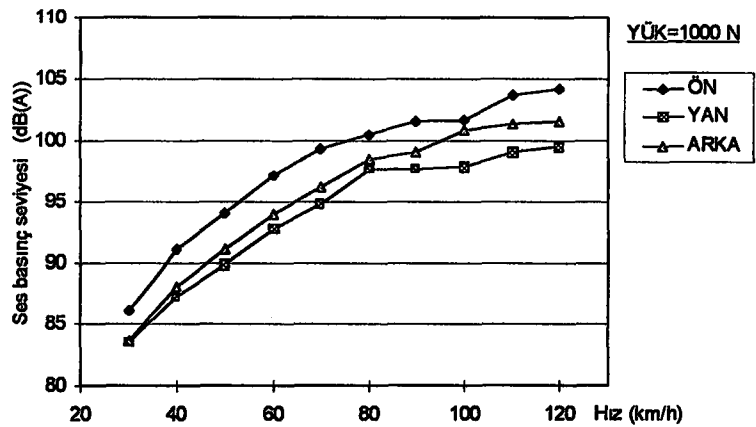
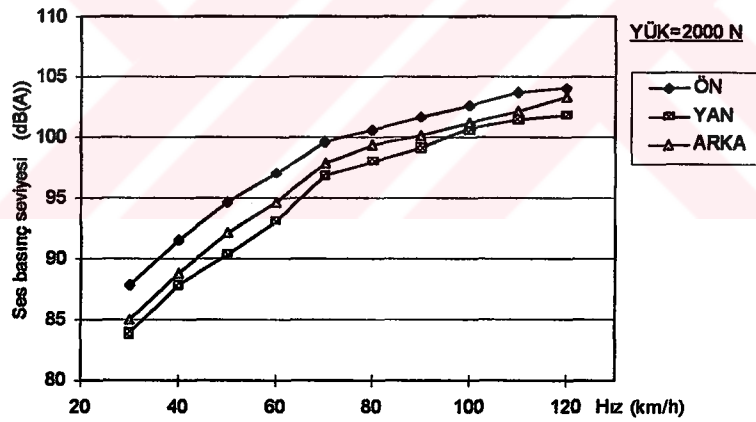
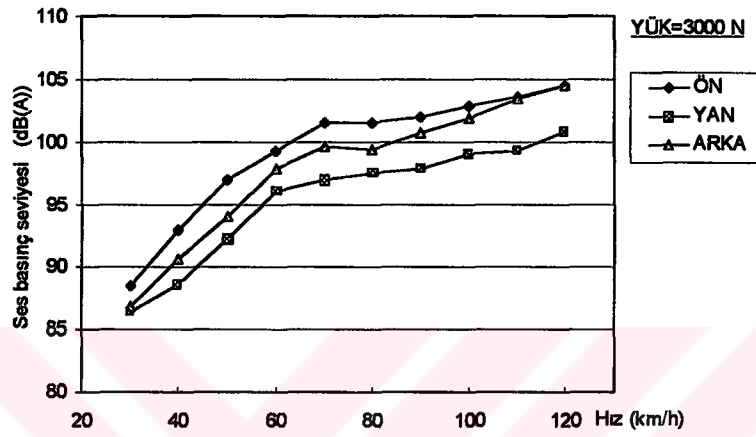
Yapılan deneylerde, laboratuvar tambur metodu kullanılarak, hızın, yükün ve konumun lastik gürültüsü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Farklı hızlarda oluşan ses basınç seviyeleri, lastik-zemin temas yüzeyinin ön, yan ve arka kısımlarında ölçülerek karşılaştırılmıştır. 1:1 ve 1:3 oktav bant frekans analizleri uygulanarak, bu konumlarda oluşan gürültüler ve boş tambura ait gürültü, nitelik olarak da karşılaştırılmıştır. Ayrıca, temas yüzeyinin merkezinden 1 m mesafede, dairesel olarak çeşitli açılarda ölçümler alınarak, gürültü seviyesinin dairesel olarak değişimi incelenmiştir.

Ölçümler çelik yüzeyli tambur üzerinde alınmıştır. Bu yüzey gerçek yol şartlarını temsil etmese de, lastik gürültüsü üzerindeki etkilerin incelenmesinde kullanılabilir.

Kullanılan lastiğin marka ve tipi LASSA GT 70 STEEL-175/70 SR 13'tür. Tüm ölçümlerde $P = 2.3$ bar lastik iç basıncı uygulanmıştır.

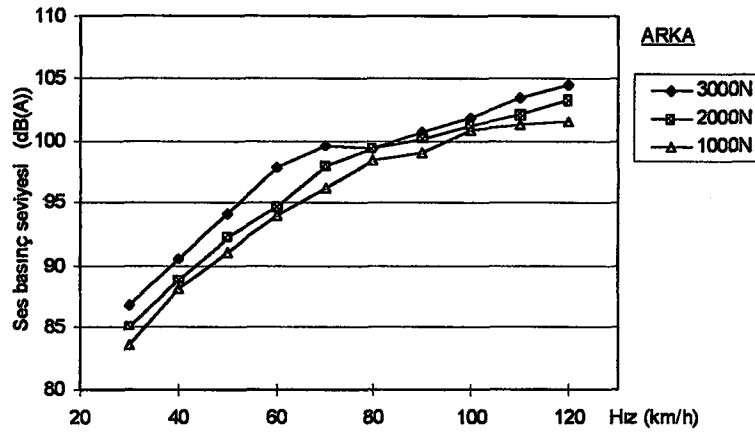
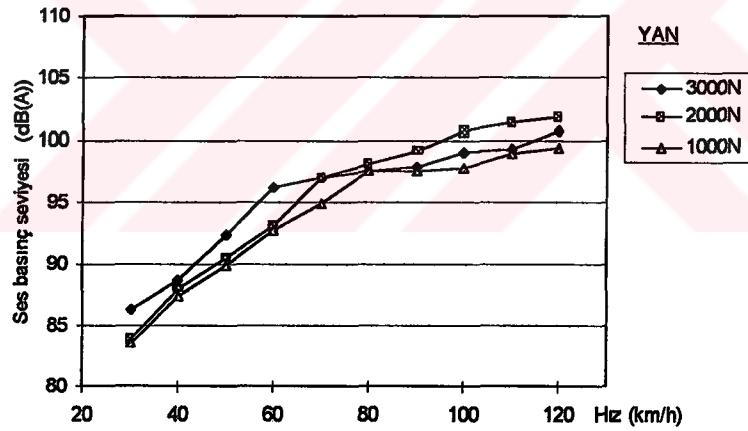
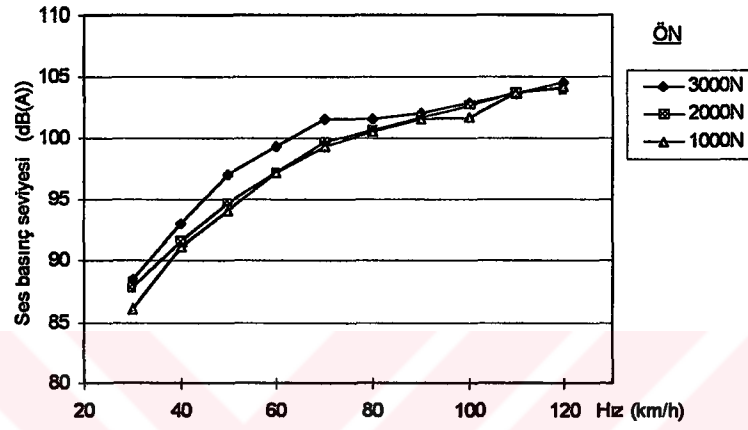
Yükün ve hızın lastik gürültüsü üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan ilk çalışmada 1000 N, 2000 N ve 3000 N tekerlek yükleri için, 30-120 km/h aralığındaki hız değerleri 10'ar birim arttırılarak uygulanmıştır. Ölçümler lastik önünde, yanında ve arkasında, lastik-zemin temas merkezinden 30 cm mesafede ve yerden 10 cm yükseklikte alınmıştır. Yük ve konumun etkileri, ölçülen değerlerle birlikte Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de verilmektedir.

Hız (km/h)	Ses basınç seviyesi (dB (A))								
	YÜK=3000N			YÜK=2000N			YÜK=1000N		
	ÖN	YAN	ARKA	ÖN	YAN	ARKA	ÖN	YAN	ARKA
30	88.4	86.3	86.8	87.9	83.9	85.0	86.1	83.5	83.6
40	93.0	88.6	90.6	91.5	87.9	88.8	91.1	87.3	88.1
50	97.0	92.3	94.0	94.6	90.4	92.2	94.1	89.9	91.1
60	99.3	96.1	97.9	97.1	93.1	94.7	97.2	92.7	93.9
70	101.6	97.0	99.6	99.7	96.9	98.0	99.3	94.8	96.2
80	101.6	97.5	99.4	100.6	98.1	99.4	100.5	97.6	98.4
90	102.0	97.9	100.7	101.7	99.2	100.1	101.5	97.6	99.0
100	102.9	99.1	101.9	102.6	100.7	101.2	101.7	97.8	100.8
110	103.6	99.3	103.4	103.7	101.4	102.2	103.7	99.0	101.3
120	104.5	100.8	104.5	104.1	101.8	103.3	104.2	99.5	101.5



Şekil 5.1 Farklı yükler için konumun etkisi

Hız (km/h)	Ses basınç seviyesi (dB (A))								
	ÖN			YAN			ARKA		
	3000N	2000N	1000N	3000N	2000N	1000N	3000N	2000N	1000N
30	88.4	87.9	86.1	86.3	83.9	83.5	86.8	85.0	83.6
40	93.0	91.5	91.1	88.6	87.9	87.3	90.6	88.8	88.1
50	97.0	94.6	94.1	92.3	90.4	89.9	94.0	92.2	91.1
60	99.3	97.1	97.2	96.1	93.1	92.7	97.9	94.7	93.9
70	101.6	99.7	99.3	97.0	96.9	94.8	99.6	98.0	96.2
80	101.6	100.6	100.5	97.5	98.1	97.6	99.4	99.4	98.4
90	102.0	101.7	101.5	97.9	99.2	97.6	100.7	100.1	99.0
100	102.9	102.6	101.7	99.1	100.7	97.8	101.9	101.2	100.8
110	103.6	103.7	103.7	99.3	101.4	99.0	103.4	102.2	101.3
120	104.5	104.1	104.2	100.8	101.8	99.5	104.5	103.3	101.5



Şekil 5.2 Farklı konumlar için yükün etkisi

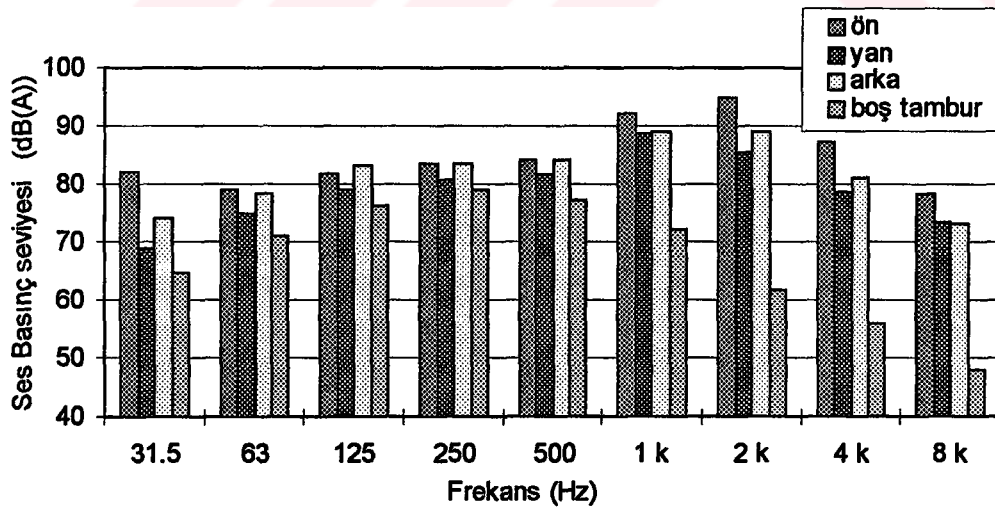
Yapılan ölçümlerden şu sonuçları çıkartmak mümkündür:

- Tüm yüklerde ve ölçüm konumlarında hız arttıkça gürültü seviyesi belirgin şekilde artmaktadır.
- Tüm yüklerde ve hızlarda, en yüksek gürültü seviyesi lastiğin ön kısmında, en düşük gürültü seviyesi ise yan kısımda oluşmuştur. Bu beklenen, normal bir durumdur. Bölüm 3.1’de anlatılmış olduğu şekilde, lastik-yol gürültüsü oluşumundaki en önemli mekanizma lastik titreşimleridir ve lastik gürültüsünün kaynaklandığı bölge, yükün tam altındaki lastik yanakları civarındır (Şekil 3.3). Bu nedenle gürültü seviyesi temas yüzeyinin ön kısmında daha yüksek olmaktadır. Ayrıca, lastiğin şekline bağlı olarak ve ön ile arka kısımlarda oluşan hava rezonansları sebebiyle (horn effect), bu bölgelerdeki gürültü seviyeleri, yan kısım gürültü seviyesinden daha yüksek olmaktadır.
- Yükün etkisi, önde: yük azaldıkça gürültü seviyesi de bir miktar azalmış, yüksek hızlarda fark daha küçük olmuştur.
- Yükün etkisi, yanda: lastiğin bu kısmında alınan ölçüm değerlerinde belli bir düzensizlik görülmektedir. Düşük hızlar için (<80 km/h) gürültü sıralaması 3000 N, 2000 N, 1000 N olduğu halde, yüksek hızlarda (>80 km/h) bu sıralama 2000 N, 3000 N, 1000 N olarak değişmektedir.
- Yükün etkisi, arkada: farklı yükler için en belirgin ses seviyesi farklılıkları bu bölgede oluşmuştur. Sadece 80 km/h için 3000 N ve 2000 N değerleri çakışmakta, bunun dışında gürültü sıralaması hep 3000 N, 2000 N, 1000 N şeklindedir.
- Genel olarak 80-90 km/h hızlarda ölçülen değerlerde bir düzensizlik görülmektedir.

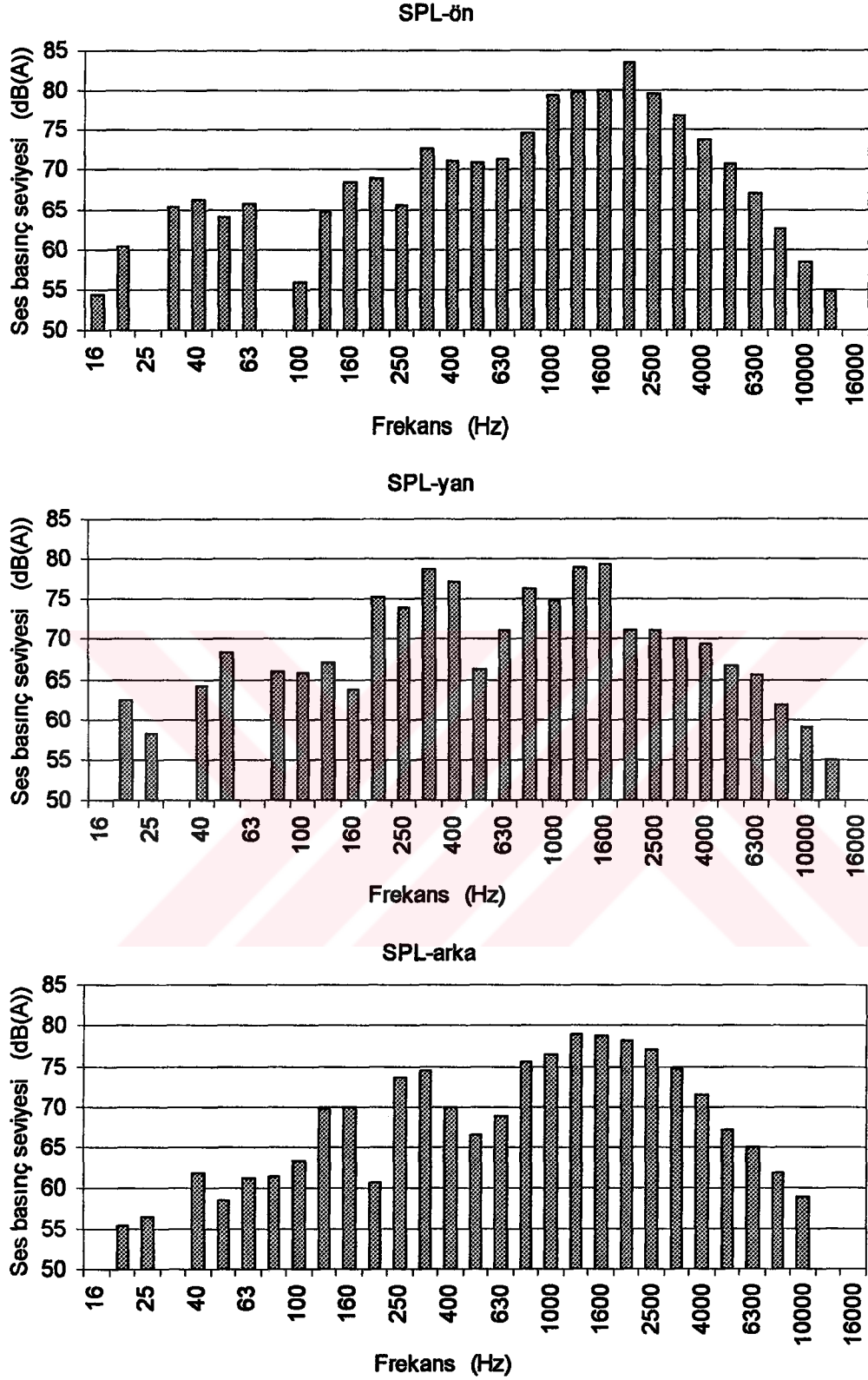
Normal olarak, yükün artışıyla beraber gürültü seviyesinde de ufak bir artış beklenmektedir. Ancak, “3000 N” yük değeri için, hız arttıkça lastiğin ön ve arka kısımlarında ölçülen değerler arasındaki fark azalırken, yan ve arka kısımlarda ölçülen değerler arasındaki fark artmaktadır. Yani ön ve yan kısımda ölçülen gürültü

seviyeleri daha ufak bir artış göstermektedirler. 2000 N ve 1000 N yük değerleri için ise böyle bir etkiye rastlanmamaktadır. Bu durum sonucunda da, lastiğin “yan” kısmındaki gürültü seviyelerinin karşılaştırıldığı grafikte, 3000 N ve 2000 N eğrilerinin birbirleriyle kesişmesiyle beklenmedik bir görüntü oluşmaktadır. Bu grafikte, düşük hızlarda gürültü seviyesi uygulanan yükle orantılı olduğu halde, 80 km/h ve üstündeki hızlarda en yüksek gürültü seviyesi belirgin bir şekilde 2000 N yükte oluşmaktadır. Lastiğin “ön” kısmındaki gürültü seviyelerinin karşılaştırıldığı grafikte ise, yüke bağlı olarak oluşan farklılıklar oldukça azdır. Genel olarak bakıldığında, yükün, lastik-yol gürültü seviyesi üzerinde az ve düzensiz bir etkisi olduğu görülmüştür.

Bu ölçümlerin alındığı konumlarda (lastik-zemin temas merkezinden 30 cm mesafede ve yerden 10 cm yükseklikte), 50 km/h hız ve 3000 N yük değerleri için frekans analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Frekans spektrumlarının karşılaştırılması Şekil 5.3’te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, tüm frekanslarda gürültü seviyesi sıralaması “ön-arka-yan-boş tambur” şeklinde olmuştur.



Şekil 5.3 Lastik-zemin temas yüzeyinin ön, yan ve arka kısımlarında 30 cm mesafede, ve boş tambur üzerinde ölçülen 1:1 oktav bant frekans analizlerinin karşılaştırılması (50 km/h, 3000 N)



Şekil 5.4 Lastik-zemin temas yüzeyinin ön, yan ve arka kısımlarında 1 m mesafede ölçülen 1:3 oktav bant frekans analizleri (50 km/h, 3000 N). Boş tambur gürültüsü için düzeltme yapılmıştır.

Boş tambura ait gürültü, genel olarak düşük frekanslıdır. Bu sebeple, lastik gürültü seviyeleriyle boş tambur gürültü seviyesi arasındaki farklılıklar yüksek frekanslarda yeterli düzeyde olduğu halde, düşük frekanslarda oldukça az olmuştur. Bunun sonucunda da, düşük frekanslar için ölçülen lastik gürültü seviyeleri, boş tambur gürültüsünden etkilenmektedir. Bu etkiyi dikkate alarak gerekli düzeltmelerin yapıldığı ikinci bir frekans analizi daha uygulanmıştır. Ölçümler 50 km/h hız ve 3000 N yük değerleri için, lastik-zemin temas merkezinden 1 m mesafede ve yerden 10 cm yükseklikte alınmıştır. Bu çalışmada, gerçek gürültü seviyelerini bulmak için, ölçülen lastik gürültü seviyeleri üzerinde, aynı konumda ve aynı frekans için ölçülen boş tambur gürültüsü için düzeltme yapılmıştır. Hesaplama aşağıdaki denkleme göre gerçekleştirilmiştir:

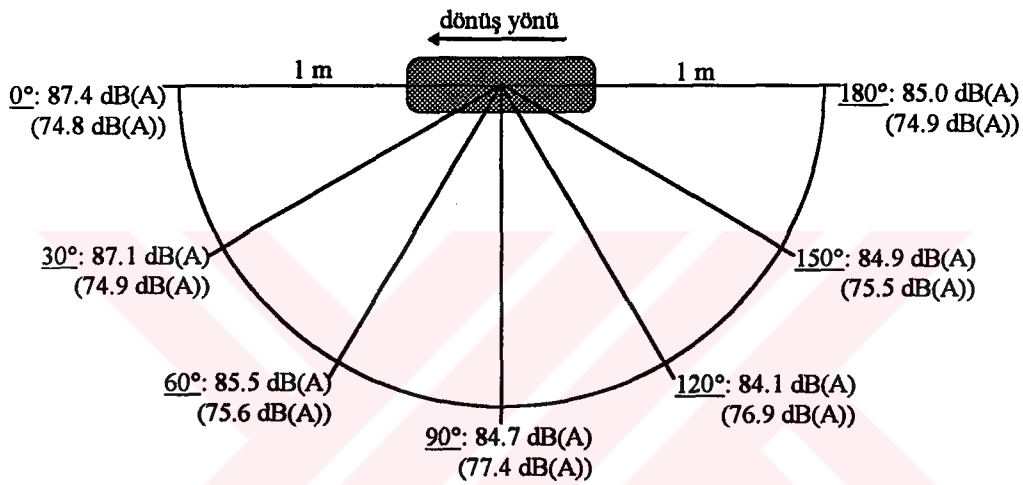
$$L_{\text{gerçek}} = 10 \times \text{Log} (10^{(0.1 \times L_{\text{ölçülen}})} - 10^{(0.1 \times L_{\text{tambur}})}) \quad (5.1)$$

Hesaplama sonucunda elde edilen frekans spektrumları Şekil 5.4'te verilmiştir.

Bu ikinci frekans analizinde uygulananlarla aynı şartlarda (1 m mesafe, 10 cm yükseklik, 50 km/h, 3000 N), dairesel olarak farklı açılarda ölçümler alınarak, gürültü seviyesinin yöne göre değişimi incenmiştir. Ölçülen gürültü seviyeleri Şekil 5.5'te verilmiştir. Bu gürültü seviyeleri, üzerlerinde tambur gürültüsü için düzeltme yapılmamış, ölçülen toplam gürültü seviyeleridir. Aynı konumlarda ve aynı şartlarda ölçülen, boş tambura ait gürültü seviyeleri ise parantez içinde ayrıca belirtilmiştir.

Şekilde verilen gürültü seviyeleri incelendiğinde, önceki ölçüm sonuçlarıyla uyumlu olarak, lastik gürültü seviyesinin ön kısımda en yüksek, yan kısımlarda ise daha düşük olduğu görülmektedir (en yüksek gürültü seviyesi 0°, en düşük gürültü seviyesi 120° açılarda ölçülmüştür). Temas yüzeyinin yan kısmı, tambur düzeneğinin tam üzerine denk geldiği için, bu bölgedeki tambur gürültüsü ise en yüksek olmaktadır. Yani diğer bir deyişle, lastik gürültüsünün en düşük olduğu bölge, boş tambur gürültüsünün en yüksek olduğu bölgedir. Bu durum sonucunda da, özellikle bu bölgede ölçülen lastik ve boş tambur gürültü seviyeleri arasındaki farklılıklar oldukça düşük ve 10 dB(A)'nın altında olmaktadır (en küçük farklılık 7.2 dB(A) ile

120° açıda oluşmuştur). Bilindiği üzere, ölçülen gürültü seviyelerinin sadece ölçülmek istenen kaynağa ait gürültüyü seviyesini vermesi için, fon gürültüsüyle olan farklılığın 10 dB(A)'dan fazla olması gerekmektedir. Dolayısıyla, bu şartlarda ölçülen değerlerde fon gürültüsü için düzeltme yapmak gerekmektedir (yukarıdaki frekans analizinde yapıldığı gibi). Bu etkiyi ortadan kaldırmak için ölçümler daha yakın mesafeden alınmalıdır.



Şekil 5.5 Gürültü seviyesinin yöne göre değişimi ($v = 50$ km/h, $F = 3000$ N, $d=1$ m, $h=10$ cm). Parantez içindeki değerler, aynı hızda boş tambura ait gürültü seviyeleridir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Lastik profilleriyle yol yüzeyinin çarpışmaları, veya yol kaplamasının pürüzlülüğü, lastik profillerinin titreşmesine neden olur. Bu titreşimler lastik yanaklarına iletildiklerinde de, en etkili bölgesi 400-1000 Hz civarında olan bir gürültü oluşmasına neden olurlar. Bu lastik titreşimleri, lastik-yol gürültüsünün ana kaynağı olarak kabul edilmektedirler.

Lastik gürültüsünü azaltmak için temel olarak şu yöntemler uygulanabilir :

- lastik hareket yönü ile diyagonal kanallar arasındaki açığı küçültmek.
- temas yüzeyi malzemesinin sertliğini azaltmak.
- lastik karkasının katılığını arttırmak.
- rezonans frekanslarından kaçınmak amacıyla farklı uzunluk ve yapılarda profil elemanları kullanılmak ve bu profil elemanlarını lastik çevresine dağılımlarını matematiksel ve fiziksel hesap yöntemleriyle tasarlanmak.
- güvenlik sınırları dahilinde lastik çapı ve iç basıncını büyütmek: böylelikle, temas yüzeyindeki lastik deformasyonu en aza indirilecek ve lastik titreşimleri azalacaktır.
- yol kaplama yüzeyinin düzensiz yapıda olmasını sağlamak: oluşan gürültü geniş bir frekans aralığına dağılacak ve gürültü seviyesi azalacaktır.
- gözenekli (su geçirgen) zemin kaplama malzemesi kullanmak: bu tür zemin kaplaması üzerinde oluşan gürültü seviyesi, hem kuru hem de ıslak yol koşullarında daha düşük olmaktadır. Islak yol koşullarında, su gözenekler arasına sızar ve yüzey üzerinde birikmez. Bu sebeple, ıslaklığa bağlı gürültü artışı fazla olmaz ve ayrıca bu kaplamanın ıslak zemin yol tutuş özelliği de daha iyidir.

Belirtilen bu yöntemlerden lastik özellikleriyle ilgili olanlar lastiğin diğer özelliklerinin kötüleşmesine neden olabildiklerinden, tam olarak uygulanmaları henüz mümkün değildir. Yol kaplamasıyla ilgili yöntemler için ise böyle bir engel sözkonusu değildir. Ayrıca, değişik yol kaplamaları için oluşan gürültü seviyesi farklılıkları, lastik desenindeki değişiklikler sonucu oluşan küçük farklardan belirgin şekilde fazladır. Bu nedenle, lastik-yol gürültüsünü azaltmak için lastiğin tasarımından ziyade yol kaplamasının tasarımına yönelik olarak yapılacak çalışmalar daha geniş olanaklar sunmaktadır.

Lastik-yol gürültüsü ölçümünde kullanılan metotların hepsinin çeşitli olumlu ve olumsuz özellikleri mevcuttur. Yapılan araştırmada kullanılacak metot tespit edilirken bu özellikler, araştırmanın amacına yönelik olarak değerlendirilmelidirler.

İki mikrofonlu ses şiddeti ölçümü, tek mikrofonlu ölçüme kıyasla bazı avantajlara sahiptir ve lastik-yol gürültüsü ölçümleri için özellikle uygundur. Bu ölçüm yöntemi ses kaynağının yerini belirleme imkanı sağlamakta ve tek mikrofonlu ölçümlerde oluşan, rüzgardan kaynaklı fon gürültüsü etkisini ortadan kaldırmaktadır. Özel taşıt uygulaması veya römork düzeneği gerektirmeden, her türlü taşıtta uygulanması mümkündür. Tüm bu özellikleri gözönünde bulundurulduğunda, standart bir lastik-yol gürültüsü ölçüm metodu geliştirilirken, ses şiddeti ölçüm metodu da uygulanabilir bir alternatif olarak dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] PETER, L. H. P., ERNST, P., "Possibilities for Noise Reduction - Interaction Car-Tire-Road", Copyright 1996 CSAT, Czech Republic, (1996)
- [2] NELSON, P. M., "Transportation Noise Reference Book", Butterworths & Co. (Publishers) Ltd., (1987)
- [3] HAMET, J. F., "Acoustic Absorption of Porous Roads: A Modified Phenomenological Model", Tyre Tech (1992)
- [4] KOBICKI, Y., ..., "Analysis of Interior Booming Noise Caused by Tyre and Powertrain-Suspension System Vibration", Int. J. of Vehicle Design, vol. 11, no. 3, UK, (1990)
- [5] HARDY, K., "Tyre Noise - The Villain?", 'Selected papers from AUTOTECH '93, which took place at the National Centre, Birmingham, UK, on 16-19 November 1993', Mechanical Engineering Publications Limited, London, (1994)
- [6] WATANABE, T., ..., "The Noise Generation Mechanism of Cross-Bar Tyres and Countermeasures Against It", Int. J. of Vehicle Design, vol. 9, no. 6, pp. 641-653, UK, (1988)
- [7] AKALIN, Ö., "Taşıtlarda Gürültü ve Taşıt Lastiklerinden Kaynaklanan Gürültünün Toplam Gürültü Emisyonundaki Yeri", Akustik ve Gürültü, İTÜ - Makina Fakültesi - Otomotiv Anabilim Dalı, (1993)
- [8] GÜNEY, A., "Ses ve Gürültü", "Taşıtlardan Kaynaklanan Gürültü", "Taşıt Gürültüsü Ölçüm Metodları, Standartlar ve Yönetmelikler", Taşıtlardan Kaynaklanan Egzoz ve Gürültü Emisyonu Eğitim Semineri Notları, İTÜ - Makina Fakültesi - Otomotiv Anabilim Dalı, 29-30 Haziran (1995)
- [9] GÜNEY, A., "Taşıtlarda Titreşim ve Gürültü", ders notları, İTÜ - Makina Fakültesi - Otomotiv Anabilim Dalı, (1997)
- [10] BLOKLAND, G., MEJER, A., "Reducing Tyre/Road Noise with Porous Road Surfaces and the Effect of Tyre Choice", SAE Paper 931279, Proceedings of the 1993 Noise and Vibration Conference, Soc. of Autom. Engin., Warrendale, PA, (1993)

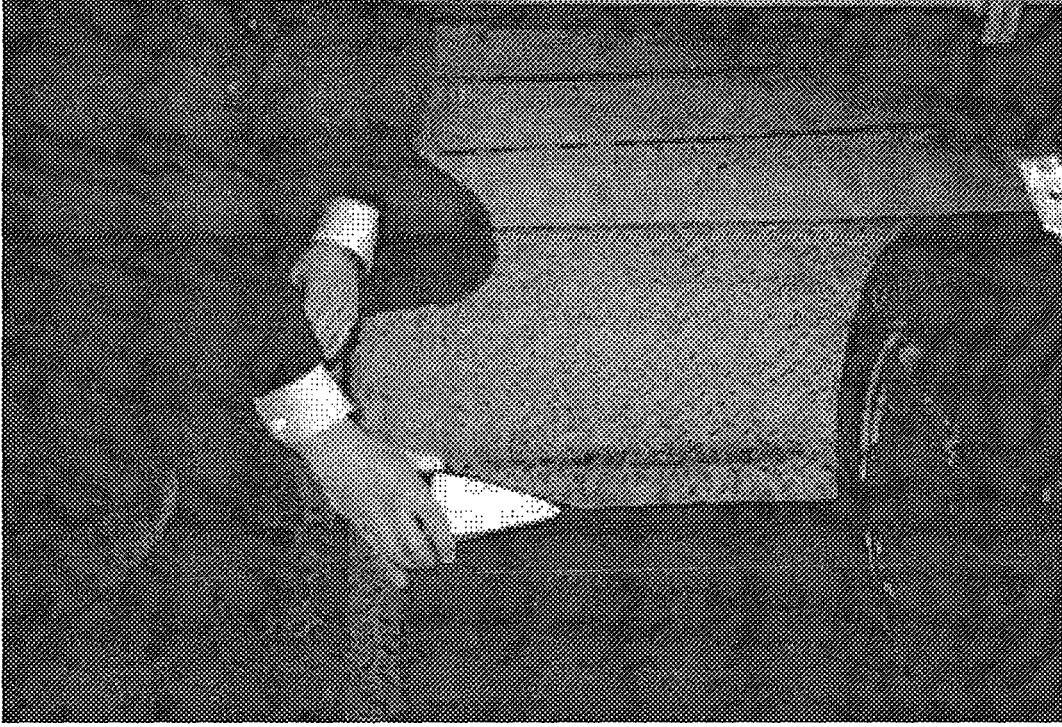
- [11] ISO 10844, " Acoustics - Test Surface for Road Vehicle Noise Measurement", International Organization for Standardization, Geneva, (1993)
- [12] ESSERS, V. U., HORCH, E. J., "Reifen-Fahrbahn-Gerausche von Pkw bei der beschleunigten Vorbeifahrt", ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 99 (1997) 4
- [13] DANOVAN, P. R., "Tire-Pavement Interaction Noise Measurement Under Vehicle Operation Conditions of Cruise and Acceleration", SAE Paper 931276, Proceedings of the 1993 Noise and Vibration Conference, Soc. of Autom. Engin., Warrendale, PA, (1993)
- [14] SANDBERG, U., EJSMONT, J. A., "The Art of Measuring Noise from Vehicle Tires", SAE Paper 931275, Proceedings of the 1993 Noise and Vibration Conference, Soc. of Autom. Engin., Warrendale, PA, (1993)
- [15] SAE J57, "Sound Levels of Highway Truck Tires", SAE Recommended Practice, Soc. of Autom. Engin., Warrendale, PA, Feb. (1987)
- [16] SAE J57, "Sound Levels of Highway Truck Tires", Soc. of Autom. Engin., Warrendale, PA, revised (1994)
- [17] THOMPSON, J. K., "The Development of a New SAE Truck Tire-Pavement Interaction Noise Measurement Procedure", SAE Paper 931277, Proceedings of the 1993 Noise and Vibration Conference, Soc. of Autom. Engin., Warrendale, PA, (1993)
- [18] THOMPSON, J. K., "Confirmation Tests for SAE J57 Test Procedure Revision", SAE Paper 951353, Soc. of Autom. Engin., Warrendale, PA, (1995)
- [19] BOLTON, J. S., HALL, H. R., SCHUMACHER, R. F., STOTT, J., "Correlation of Tire Intensity Levels and Passby Sound Pressure Levels", SAE Paper 951355, Soc. of Autom. Engin., Warrendale, PA, (1995)

EKLER

Ek A Deney düzeneğinin fotoğrafları



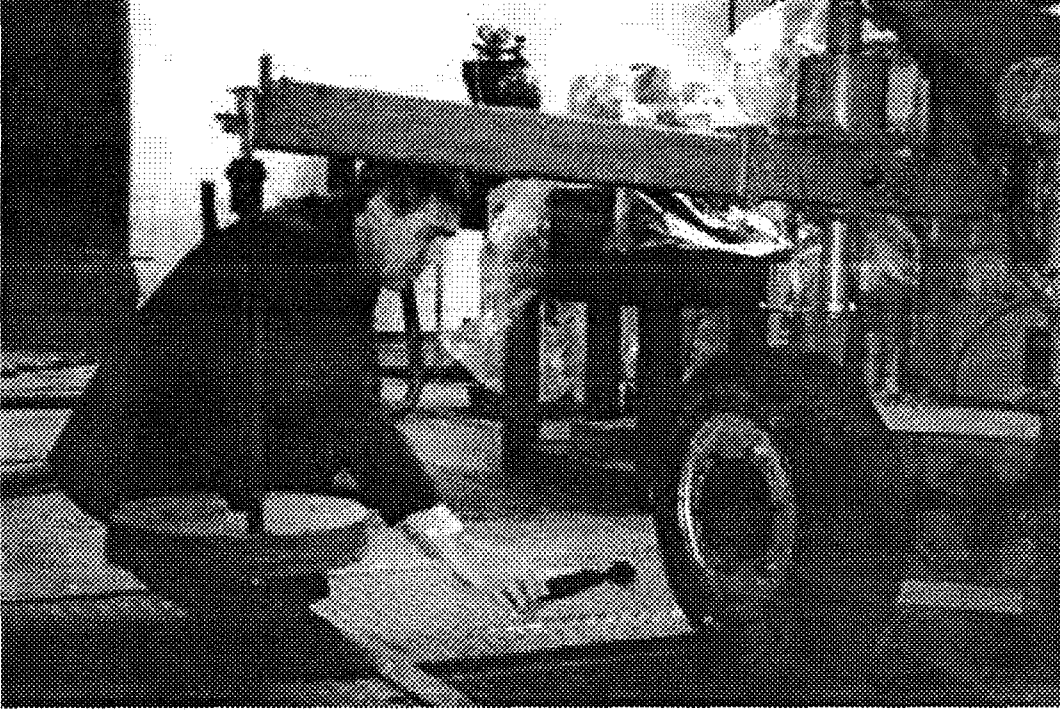
Şekil A.1 Test lastiği ve ölçüm cihazı - I



Şekil A.2 Test lastiği ve ölçüm cihazı - II



Şekil A.3 Test düzeneği ve ölçüm alınması - I



Şekil A.4 Test düzeneği ve ölçüm alınması - II

ÖZGEÇMİŞ

Fatih BAY, 1972 yılında İstanbul'da doğdu. Orta ve Lise öğrenimini Nişantaşı Anadolu Lisesinde 1990 yılında tamamladıktan sonra, aynı yıl Boğaziçi Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde okumaya hak kazandı. Lisans öğrenimini 1995 yılında mezun olarak tamamladı. Aynı yıl, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Otomotiv Programında yüksek lisans öğrenimine başladı. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Aylık Yayın Organı "Mühendis ve Makina" dergisinin Haziran 1996 sayısında, "Benzinli Taşıtlarda Egzoz Gazlarının Katalitik Olarak Arıtılması" başlıklı yazısı yayınlandı. Halen, Ford Otomotiv Sanayi A.Ş., Kalite Güvence Müdürlüğünde çalışmaya devam etmektedir.

