

Şehirdışı Karayollarından Kaynaklanan Gürültünün Önlenmesi Yöntemlerinin
Araştırılması

Pınar Özmen

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs 2018

Investigation of Noise Preventing Methods for Rural Highways

Pınar Özmen

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

May 2018

Şehirdışı Karayollarından Kaynaklanan Gürültünün Önlenmesi Yöntemlerinin
Araştırılması

Pınar Özmen

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ulaştırma Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Şafak Bilgiç

Mayıs 2018

ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Pınar Özmen'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Şehirdışı Karayollarından Kaynaklanan Gürültünün Önlenmesi Yöntemlerinin Araştırılması” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Şafak Bilgiç

İkinci Danışman:

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Şafak Bilgiç

Üye: Doç. Dr. Murat Karacasu

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Polat Yalınız

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun.....tarih ve
..... Sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr.Öğr.Üyesi Şafak Bilgiç danışmanlığında hazırlamış olduğum “Şehirdışı Karayollarından Kaynaklanan Gürültünün Önlenmesi Yöntemlerinin Araştırılması” başlıklı Yüksek Lisans tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 16/05/2018

Pınar Özmen
İmza

ÖZET

Nüfus artışı ve teknolojinin gelişmesiyle ses ve gürültü kaynakları da giderek artmakta, çeşitlenmekte ve giderek daha büyük sorun olmaktadır. Yüksek düzeyli gürültünün kalıcı sağırlık yanında, stres, depresyon, kalp ve damar hastalıkları, çocuklarda öğrenme güçlüğü gibi birçok sağlık sorununa yol açtığı bilinmektedir. Sürekli artan karayolu aracı sayısı da en önemli gürültü kaynaklarından birisidir. Özellikle karayoluna yakın bir yerde oturan veya çalışan insanlar bu sorunlara daha fazla maruz kalmaktadırlar. Karayolu kaynaklı gürültünün azaltılması için, sessiz asfalt üretilmesi, araç lastiklerinde özel önlemler alınması, araç motor gürültüsünün azaltılması, araç motoru çevresinde yalıtım yapılması, binalarda yalıtım yapılması ve karayolu kenarında gürültü perdesi yapılması genel çalışma konuları olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında bu yöntemler incelenmiş ve Eskişehir-Ankara D200 karayolu üzerinde yer alan Kaymaz Mahallesi için bir gürültü ölçüm uygulaması yapılmıştır. Uygulama sonucunda karayoluna yakın evlerde oturanların gürültü sorunları yaşadığı ve gürültü perdesi gibi önlemlerin gerekli olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ses, Gürültü, Gürültü önleme, Gürültü perdesi, Gürültü duvarı

SUMMARY

With the growth of technology and increasing in population noise and the sources of noise are also increasing, diversifying and becoming bigger problems. It is known that high levels of noise cause many health problems such as stress, depression, heart and vascular failures and learning difficulties in child development as well as persistent deafness. The number of constantly increasing road vehicles is one of the most important sources of noise. People who live or work near a highway are more exposed to these problems. Generating silent asphalt, taking special precautions on vehicle tires reducing vehicle engine noises, insulation of vehicle engine and buildings and making noise barriers on the road side are common studies for roadway noise reduction. These methods were investigated within the scope of this thesis study and a noise measurement was made for Kaymaz Town located on Eskisehir-Ankara D200 road. As a result of application people living near the highway experienced noise problems and those precautions like noise barrier were necessary have approved.

Keywords: Sound, Noise, Noise Prevention, Noise Barrier, Noise Wall

TEŐEKKÖR

Tezimin tamamlanmasında her aŐamada bana yardımcı olan ve her konuda rehberlik eden çok kıymetli danıŐmanım Sayın Dr. Şafak Bilgiç'e, hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen çok sevgili eŐim Haluk ve ocuklarım Melek ile Mehmet'e, yŐksek lisansımı bitirmemi çok isteyen canım babam Sabri YaŐar'a, anneme, kardeŐlerime ve çalıŐtıĐım kurum olan KGM'deki değerli bŐyŐklerime yŐrekten teŐekkŐr ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	8
2.1. Ses ve Gürültüyle İlgili Tanımlar	8
2.2. Gürültünün Zararları	11
2.2.1. Fiziksel etkiler.....	13
2.2.2. Fizyolojik etkiler	14
2.2.3. Psikolojik etkiler	15
2.2.4. Performans etkileri.....	15
2.3. Gürültünün Özellikleri ve Ölçümü	16
2.4. Karayolu gürültü kaynakları	21
2.5. Gürültünün Önlenmesi İçin Kullanılan Yöntemler.....	35
2.5.1. Sessiz asfalt üretimi	36
2.5.2. Binalarda gürültü izolasyonu yapılması.....	38
2.5.3. Doğal gürültü bariyerleri.....	38
2.5.4. Yapay gürültü bariyerleri	43
3. YÖNTEM	52
3.1. Gürültünün Ölçümü	52
3.2. Gürültü Haritası Çıkarılması.....	53
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	55

İÇİNDEKİLER (devam)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR DİZİNİ	65



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Avrupa Birliği ülkelerinde kaynak tipine göre şehirçi ve şehirdışı alanlarda yüksek gürültüye maruz kalan insan sayısı.....	6
2.1. Akustik Yönden Gürültü Kaynakları.....	8
2.2. Ses dalgasıyla ilgili kavramlar.....	10
2.3. Ses dalgasının genliği	11
2.4. Ses ölçüm düzeneği	17
2.5. Araç hızı ve gürültü seviyesi arasındaki ilişki.....	25
2.6. 50km/sa hızındaki araçların kasis veya kavşak bölgesinde 2 m/s ² ve 1 m/s ² ivmeleriyle hızlanması ve yavaşlaması durumunda ortaya çıkan gürültü seviyesi farkları	25
2.7. Lastik-kaplama etkileşimi	26
2.8. Farklı araç tipleri için hıza bağlı maksimum gürültü seviyeleri.....	30
2.9. Farklı gürültü kaynakları için gürültü seviyeleri	31
2.10. SoundPLAN yazılımındaki gürültü bariyeri öncesi ve sonrası gürültü haritaları örnekleri	35
2.11. Poroz asfalt kesiti	37
2.12. Yol kaplaması tipine göre gürültü seviyeleri.....	37
2.13. Doğal bitki bariyerlerine bir örnek	39
2.14. Doğal toprak dolgu duvar çekirdekli bitki bariyeri	40
2.15. Destekli toprak dolgu duvar çekirdekli bitki bariyeri.....	40
2.16. Gürültü duvarı, toprak dolgu bariyer ve birlikte kullanımları	41
2.17. Plastik iskeletli bitki bariyeri.....	41
2.18. Beton iskeletli bitki bariyeri	42
2.19. Ahşap iskeletli bitki bariyeri	42
2.20. Yeşil Duvar uygulaması	43
2.21. Yapay gürültü perdelerinin çalışma prensibi.....	45
2.22. Gürültü perdesi üzerine eklenen aparat örnekleri.....	46
2.23. Gürültü perdesinde sesin yayılımı	47

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.24. Çift taraflı perdenin yansıtma etkisi	47
2.25. Şeffaf gürültü perdesine bir örnek	48
2.26. Çelik gürültü perdesi	48
2.27. İnok s çelik gürültü perdesi	49
2.28. Güneş enerjisi paneli kaplı gürültü perdesi	49
2.29. Çelik güvenlik bariyeri ve gürültü perdesi	50
2.30. Beton gürültü perdesi.....	50
2.31. Ahşap gürültü perdesi.....	51
2.32. Plastik/kompozit gürültü perdeleri	51
3.1. Dış mekânda mikrofon konumu	52
4.1. Kaymaz Mahallesi nin yeri.....	55
4.2. D200 karayolu ve Kaymaz Mahallesi nin yerleşimi.....	56
4.3. D200 karayolunun konumu	57
4.4. D200 karayolu ve Kaymaz Mahallesi ndeki yola yakın konutlar	58
4.5. Kaymaz Mahallesi nde D200 karayolu yakını ndaki ölçüm noktaları	58
5.1. Kaymaz Mahallesi geçişinde D200 yolu üzerinde yapılması önerilen Poroz Asfalt (sarı taralı alan) ve Gürültü Duvarı (kırmızı çizgiler) gösterimi	62
5.2. Kaymaz Mahallesi geçişinde D200 yolu kenarı için Yeşil Gürültü Duvarı önerisi	63
5.3. Kaymaz Mahallesi geçişinde D200 yolu kenarı için Şeffaf Gürültü Duvarı önerisi....	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Karayolu Çevresel Gürültü Sınır Değerleri	3
2.1. Gürültü zararlarının sınıflandırılması	12
2.2. Gürültü zararları	13
2.3. Gürültünün sağlık etkilerinin başlangıç seviyeleri	16
2.4. Bazı ses kaynaklarının dB değerleri ve algılanması	20
2.5. Karayolu ulaşım gürültüsünü etkileyen faktörler	23
2.6. Otomobiller, orta büyüklükte kamyonlar ve ağır kamyonlar için Hendricks sabitleri.	29
2.7. Bitkisel bariyerlerin etkileri	39
2.8. Yapay bariyerlerin etkileri	44
4.1. D200 karayolunun Kaymaz Mahallesi yakınlarındaki trafik hacim değerleri, Yıllık Ortalama Günlük Trafik, YOGT	57
4.2. Kaymaz Mahallesi L_{max} gürültü ölçüm sonuçları	59
4.3. Kaymaz Mahallesi L_{eq} gürültü ölçüm sonuçları	60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
λ	Dalga boyu
f	Frekans
Hz	Hertz
kHz	kilohertz
dB	desibel
dBA veya dB(A)	İnsan kulağı duyarlılığına göre ağırlıklandırılmış ses ölçme birimi
L_{eq}	Eşdeğer gürültü düzeyi
W	Ses gücü
L_w	Ses güç seviyesi
$L_{gündüz}$	Gündüz gürültü göstergesi
$L_{akşam}$	Akşam gürültü göstergesi
L_{gece}	Gece gürültü göstergesi
L_{gag}	Gündüz-Akşam-Gece gürültü göstergesi (24 saatlik)
L_{max}	En yüksek ses düzeyi

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
YOĞT	Yıllık Ortalama Günlük Trafik
D200	200 nolu Devlet Yolu
ÇYGM	Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü
ÇGDYY	Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği
ÇOB	Çevre ve Orman Bakanlığı
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
CEDR	Avrupa Karayolu Yönetimleri Birliği

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Ses; Titreşim yapan bir kaynağın hava basıncında yaptığı dalgalanmalar ile oluşan ve insanda işitme duyusunu uyaran fiziksel bir olay olarak tanımlanmaktadır. Gürültü ise Sesbilimde periyodik olmayan frekanslardan oluşan seslerin oluşturduğu sürekli yapıyı tanımlamaktadır. Sağlık alanındaki gürültü tanımı ise daha değişiktir. İnsan üzerinde olumsuz etki yapan rahatsız edici seslere gürültü denmektedir. Belirgin bir yapısı olmayan, kişiyi bedensel veya psikolojik olarak etkileyebilen ses düzeni olarak da tanımlanmaktadır. (Güler ve Çobanoğlu, 1994)

Gürültünün yüksek olduğu ortamda bulunmak işitme kayıplarına neden olmaktadır. Ayrıca gürültünün uyku bozukluğu, stres, iş yapabilme yeteneğinde azalma, kalp hastalıkları, kalp krizi, felç ve yüksek tansiyon hastalıklarına yol açtığı da belirlenmiştir. (Güler ve Çobanoğlu, 1994, Lusk vd, 2017)

Gürültünün çocuklar üzerindeki zararları daha ciddi boyutlardadır. Yukarıdaki zararlara ek olarak, hamilelerin düşük kilolu doğum yapması, çocuklarda okuma becerisini azaltma ve hafıza sorunlarına yol açarak okul başarısını düşürme etkileri yarattığı belirlenmiştir. (Lusk vd, 2017)

Gürültünün devletin ilgilenmesi gereken bir çevre kirliliği sorunu olarak görülmesi şarttır. Türkiye Cumhuriyeti Anayasasının (1982) 56. Maddesine göre:

“Herkes, sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek Devletin ve vatandaşların ödevidir”.

Gelişen teknolojiyle beraber gürültü kaynakları, çeşitleri ve miktarında ciddi artış yaşanmaktadır. Gürültüyü azaltmak için ise iki temel yaklaşım ortaya çıkmaktadır: birincisi, gürültüyü kaynağında azaltmak, ikincisi ise araya bir engel koyarak gürültünün insanlara ulaşmasını önlemeye çalışmaktır.

Türkiye Cumhuriyeti Devleti'nin Avrupa Birliği üyeliği adaylığı nedeniyle diğer birçok alandaki gibi çevre ve alt alan olarak gürültü konusunda da mevzuat uyum çalışmalarına devam edilmektedir.

Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi hakkındaki 2002/49/EC sayılı Avrupa Birliği Konsey Direktifi, çevresel gürültüye maruz kalmanın etkileriyle belirli öncelikler esasına göre mücadele etmeye yönelik ortak bir yöntem belirlenmesini hedeflemektedir.

Bu amaca yönelik olarak direktifte bahsedilen eylemlerin kademeli olarak uygulamaya konması gerektiği belirtilmiştir. Bu eylemler aşağıdaki gibidir:

(a) Kullanılan yöntemler yardımıyla gürültü haritalarının hazırlanarak çevresel gürültüye maruz kalma dereceleri belirlenmelidir.

(b) Kamuoyunun çevresel gürültü ve etkileri konusunda yeterli bilgilendirilmesi sağlanmalıdır.

(c) Üye ülkeler tarafından, gerekli olan her yerde (bilhassa maruziyet durumunun insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu yerlerde) ve gürültüyü önleme ve azaltma düşüncesiyle gürültü haritalarına göre eylem planlarının hazırlanması ve uygulanması gerekmektedir.

Direktif aynı zamanda, özellikle ulaşım araçları, açık havada kullanılan teçhizat olmak üzere belirli kaynaklar tarafından yayılan gürültüyü azaltmak için toplum düzeyinde önlemler geliştirmek için bir temel sağlamayı da amaçlamaktadır.

AB'nin 2002/49/EC nolu Çevresel Gürültü Yönetmeliğine uyum amacıyla Çevre ve Orman Bakanlığı tarafınca hazırlanan "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi (ÇGDY) Yönetmeliği" 01.07.2005 tarih, 25862 sayılı Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmeliğin amacı "çevresel gürültüye maruz kalınması sonucu kişilerin huzur ve sükûnunun, beden ve ruh sağlığının bozulmaması için gerekli tedbirlerin alınmasını sağlamaktır". 2005'de yürürlüğe giren yönetmeliğin ardından, uygulama süreci

içinde ortaya çıkan eksiklikler ve ülkemizin yapısından kaynaklanan özel durumlar vb. gereksinimlerden dolayı söz konusu yönetmelik 07.03.2008, 04.06.2010 ve 27.04.2011 tarihlerinde Resmi Gazetede yayımlanarak revize edilmiştir. ÇGDY Yönetmeliği Madde 18’de karayolundan çevreye yayılan gürültü seviyesi ve gürültünün önlenmesine ilişkin sınır değerler bu Yönetmeliğin ekindeki Ek-VII Tablo-1’de belirtilmiştir. Yönetmelik karayollarından kaynaklanan çevresel gürültü seviyesi Ek-VII’de yer alan Tablo-1’deki sınır değerleri aşamaz” hükmünü getirmektedir. (ÇGDYY, 2011)

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğinin 18. Maddesinde sözü edilen “Kara yolundan çevreye yayılan gürültü gürültünün sınır değerleri” ni içeren Ek-VII Tablo-1 aşağıda Çizelge 1.1 olarak verilmiştir.

Çizelge 1.1. Kara Yolu Çevresel Gürültü Sınır Değerleri (ÇGDYY, 2011)

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

Göstergelerdeki zaman dilimleri;

Gündüz: 07.00’den 19.00’a kadar olmak üzere 12 saat,

Akşam: 19.00’dan 23.00 ‘e kadar olmak üzere 4 saat,

Gece: 23.00’den 07.00’ye kadar olmak üzere 8 saattir.

Aynı yönetmeliğin 27 maddesinde:

“Yeni konut alanlarının planlanması aşamasında aşağıda verilen gürültüye maruz kalma kategorileri dikkate alınır:

a) Kategori A (Lgündüz cinsinden <55 dBA) Alanı: Bu kategorinin en üst seviyesindeki gürültü rahatsızlık verici derecede değildir.

Planlama kararı verilirken gürültü belirleyici bir faktör olarak değerlendirilmeye alınmaz.

b) Kategori B (Lgündüz cinsinden 55- 64 dBA) Alanı: Planlama kararlarında gürültü seviyesi göz önüne alınır. Gürültüye karşı gerekli tedbirler alınarak planlama kararları verilir.

c) Kategori C (Lgündüz cinsinden 65-74 dBA) Alanı: Planlama kararı genellikle verilmez. Ancak kamu yararı gerektiren hallerde, daha sessiz bir yer bulunamaması nedeniyle izin verilmek zorunda kalınması halinde arka plan gürültü seviyesi göz önünde bulundurularak gürültüye karşı tedbirler alınır.

ç) Kategori D (Lgündüz cinsinden >74 dBA) Alanı: Planlama kararı verilmez.”

hükmü mevcuttur.

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğinin 28.maddesine göre;

“Planlama aşamasındaki faaliyetler için uyulması zorunlu kriterler aşağıda belirtilmiştir:

a) 7/3/2008 tarihinden sonra inşa edilmiş ve bu Yönetmeliğin yayım tarihinden sonra inşa edilecek yapıların mimari projelerinde, yapı tiplerine bağlı olarak Ek-VII’de yer alan Tablo-9’da verilen sınır değerlerin sağlanması zorunludur.

b) Planlama aşamasında; ulaşım, işletme, tesis, eğlence yeri, imalathane, atölye, işyeri gibi planlanan faaliyetler 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 ve 25 inci maddede verilen esas ve kriterlere göre değerlendirilir. Uygun olmayan durum varsa faaliyete izin verilmez.”

denilmektedir.

Aynı yönetmelik Madde 29’a göre;

“Stratejik gürültü haritalarının hazırlanmasında aşağıdaki esaslara uyulur:

a) En geç 30/6/2013 tarihine kadar;

1) İki yüz elli binden fazla yerleşik nüfusu olan yerleşim alanları,

2) Yılda altı milyondan fazla aracın geçtiği ana kara yolları,

3) Yılda altmış binden fazla trenin geçtiği ana demir yolları,

4) Yılda elli binden fazla hareketin gerçekleştiği ana hava alanları

için bir önceki takvim yılındaki durumu gösteren stratejik gürültü haritaları hazırlanır.

b) En geç 30/6/2011 tarihine kadar ve daha sonra her beş yılda bir stratejik gürültü haritası hazırlanması zorunlu olan; yılda altı milyondan fazla aracın geçtiği ana kara yolları, yılda altmış binden fazla sayıda trenin geçtiği ana demir yolları, ana hava alanları ve iki yüz elli binden fazla yerleşik nüfusu olan yerleşim alanları Bakanlığa bildirilir.

c) 30/6/2018 tarihine kadar ve bu tarihten sonra her beş yılda bir;

1) Yüz binden fazla yerleşik nüfusu olan yerleşim alanları,

2) Yılda üç milyondan fazla aracın geçtiği ana kara yolları,

3) Yılda otuz binden fazla trenin geçtiği ana demir yolları

için bir önceki yıldaki durumu gösteren stratejik gürültü haritaları hazırlanır.

ç) En geç 30/6/2014 tarihine kadar ve daha sonra her beş yılda bir stratejik gürültü haritası hazırlanması zorunlu olan; yılda üç milyondan fazla aracın geçtiği ana kara yolları, yılda otuz binden fazla sayıda trenin geçtiği ana demir yolları ve yüz binden fazla yerleşik nüfusu olan yerleşim alanları Bakanlığa bildirilir.”

Madde 30’a göre:

“Eylem Planlarına ilişkin esaslar aşağıda belirtilmiştir:

a) Gerekmesi halinde en geç 18/7/2014 tarihine kadar;

1) Yılda altı milyondan fazla aracın geçtiği ana kara yolları, yılda altmış binden fazla trenin geçtiği ana demir yolları, ana hava limanları ve yakınındaki yerler,

2) İki yüz elli binden fazla yerleşik nüfusu olan yerleşim alanları

için, gürültü seviyesinin azaltılması da dahil olmak üzere gürültü ile ilgili hususlar ve gürültünün etkileri ile baş etmeye yönelik eylem planlarının hazırlanmış olması gerekir. Eylem planları dâhilindeki tedbirler yetkili idarenin inisiyatifi altındadır. Ancak, bu Yönetmelikte verilen sınır değerlerin aşıldığı durumlar ya da yetkili idarelerce seçilen diğer kriterler olarak tanımlanan öncelikler eylem planında özellikle belirtilir ve stratejik gürültü haritalamaları ile tespit edilen en önemli bölgelerde uygulanır.

b) En geç 18/7/2019 tarihine kadar;

1) Yılda üç milyondan fazla aracın geçtiği ana kara yolları, yılda otuz binden fazla trenin geçtiği ana demir yolları ve yakınındaki yerler,

2) Yüz binden fazla yerleşik nüfusu olan yerleşim alanları

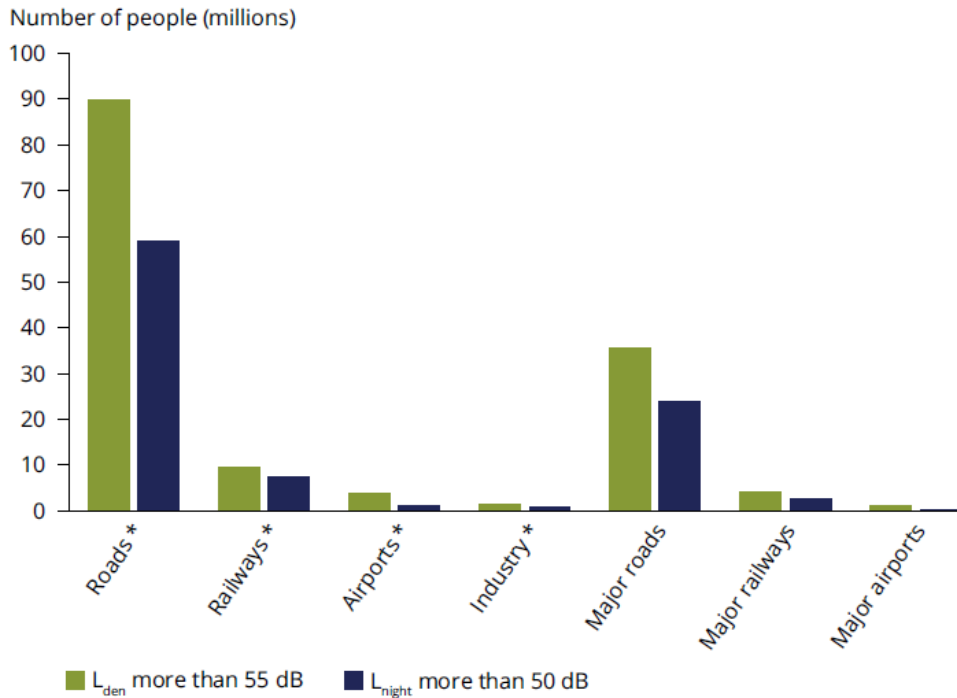
için, bu Yönetmelikte verilen sınır değerlerin aşılması durumu ya da yetkili idarelerce seçilen diğer kriterler olarak tanımlanan önceliklere belirgin bir şekilde yer veren eylem planlarının hazırlanmış olması temin edilir.

c) (a) ve (b) bentlerinde belirtilen kriterler hakkında yetkili idarelerce Bakanlığa bilgi verilir.

ç) Eylem planları Ek-V’te verilen eylem planları için asgari gereksinimleri karşılayacak şekilde hazırlanır.

d) Mevcut gürültü durumunu etkileyen çok önemli bir değişikliğin meydana gelmesi üzerine ve hazırlandıkları tarihten itibaren en az beş yılda bir eylem planları gözden geçirilir ve gerekiyorsa revize edilir.”

Yöntemler konusunda Avrupa Birliği (AB) ülkeleri örnek alınsa da, AB ülkelerinde sınır değerler çok daha aşağıda belirlenmiştir. AB Çevre Ajansı'na (2014) göre karayolları sebebiyle tüm gün sınır değeri olan 55 dB değerine maruz kalan kişi sayısı 2011 yılı için 125 milyonun üzerinde bulunmuştur. Ayrıca 50 dB lik gece sınırının üzerinde gürültüye maruz kalan kişi sayısı 85 milyondan fazladır (Şekil 1.1).



Note: Based on data reported by countries by 28 August 2013. Noise mapping and assessment methods may differ by country. Gaps in reported information have been filled with expert estimates where necessary.

Şekil 1.1. Avrupa Birliği ülkelerinde kaynak tipine göre şehiriçi ve şehirdışı alanlarda yüksek gürültüye maruz kalan insan sayısı (EEA, 2014)

Ayrıca AB üyelerindeki prematüre doğumlardaki ölümlerin en az 10000 tanesinin gürültü kaynaklı olduğu değerlendirilmektedir (EEA, 2015).

Bu çalışmada öncelikle gürültü zararları ve azaltma yöntemleri incelenmiş, ardından seçilen Eskişehir-Ankara arasındaki D200 yolu kenarında yer alan Kaymaz Mahallesi gürültü ölçümlerine yer verilmiş ve gürültü azaltımı için yapılabilecekler değerlendirilmiştir.

Bölüm 1'de tezin giriş ve amaçları anlatılmıştır. Tezin 2. bölümü gürültü ile ilgili genel bilgiler ve gürültü önleme yöntemleri hakkında literatür araştırmasını içerir. Gürültü

ölçümleri ve gürültü azaltma yöntemlerinin gerekliliği değerlendirmeleri tezin 3. bölümünde anlatılmıştır. Tezin 4. bölümünde Kaymaz Mahallesiinde yapılan gürültü ölçümü sonuçları değerlendirilmiştir. Tezin son bölümünde sonuç ve öneriler sunulmuştur.

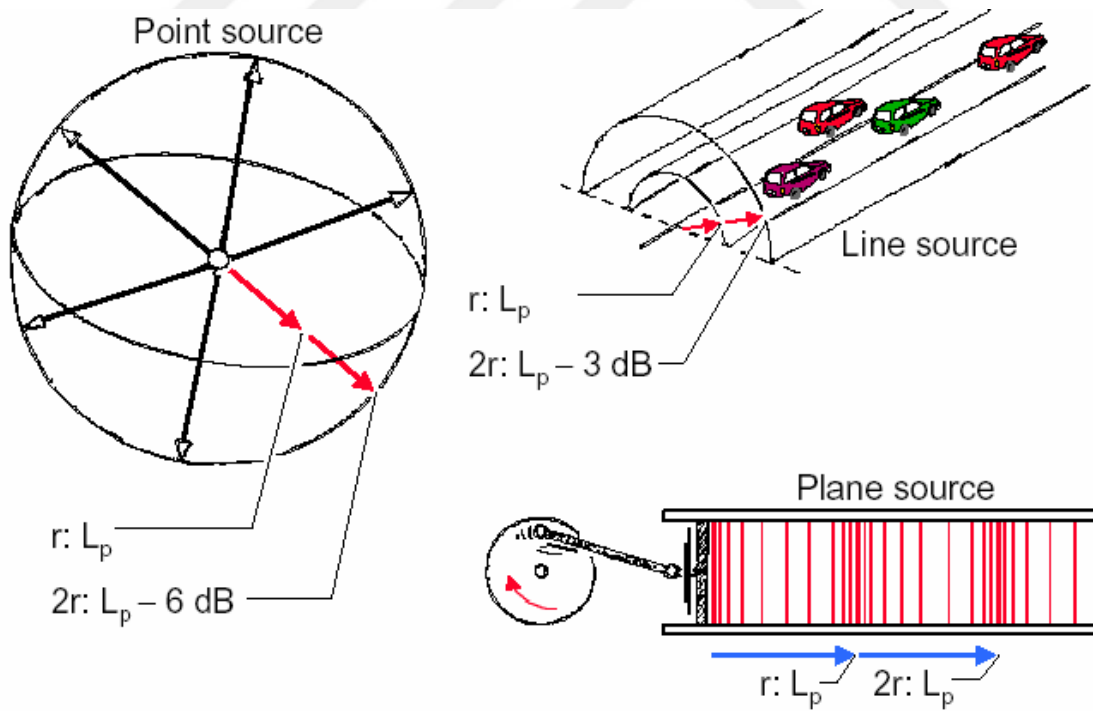


2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Ses ve Gürültüyle İlgili Tanımlar

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Kılavuzu gürültüyü, “hoşa gitmeyen, istenmeyen, rahatsız edici ses” olarak tanımlamakta, sesin ise, nesnel bir kavram olduğunu, yani ölçülebilir ve varlığının kişiye bağlı olarak değişmediğini belirtmektedir. Kılavuza göre gürültü öznel bir kavramdır ve bir sesin gürültü olarak nitelenip nitelenmemesi kişilere bağlı olarak değişebilmektedir (ÇYGM, 2011).

Gürültü için birçok kaynak mevcut olup, akustik yönden Şekil 2.1’de gösterildiği gibi noktasal, çizgisel ve düzlemsel kaynaklı gürültü olarak sınıflandırılmaktadırlar.



Şekil 2.1. Akustik Yönden Gürültü Kaynakları (ÇYGM, 2011).

1. Noktasal kaynaklar: Boyutları ürettikleri sesin dalga boyundan daha küçük olan ve küresel dalgalar yayan kaynaklardır. Sabit veya hareketli kaynaklar olabilirler.

2. Çizgisel Kaynaklar: Çok sayıda eş düzeyli nokta kaynağın bir doğrultu üzerinde birbirine çok yakın bulunması ile oluşur. Örneğin, trafik gürültüsü çizgisel gürültü kaynağıdır.

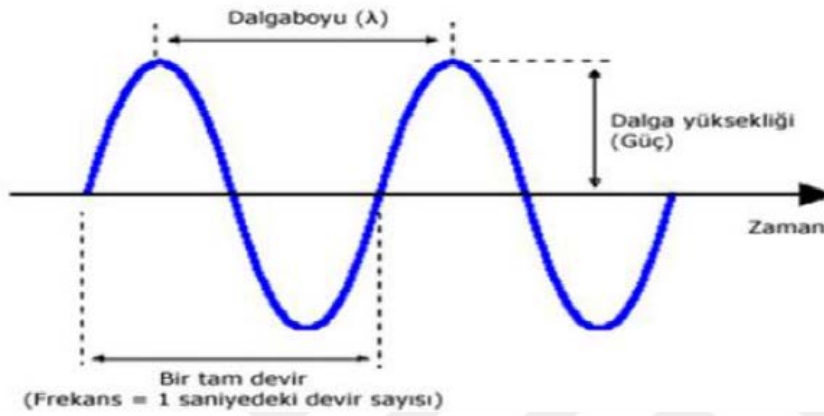
3. Düzlemsel Kaynaklar: Enerji yayan bir piston ve meydana gelen düzlemsel dalgaların içinde ilerlediği bir tüpten oluştuğu söylenebilir. Tüpün çeperlerinde enerji kaybı olmadığı kabul edilirse, tüp içerisindeki ses şiddeti, kaynağa olan uzaklıktan bağımsızdır. Ses şiddeti tüpün her noktasında aynı olduğundan, ses basınç düzeyi kaynaktan uzaklaşılmasına rağmen azalmaz (Çelik, 2009).

Güler ve Çobanoğlu (1994) tarafından T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nün Çevre Sağlığı Temel Kaynaklar dizisi kapsamında yazılan Gürültü adlı yayında ise ses; titreşim yapan bir kaynağın hava basıncında yaptığı dalgalanmalar ile oluşan ve insanda işitme duygusunu uyaran fiziksel bir olay olarak tanımlanmaktadır. Aynı eserde, insan ve toplum üzerinde olumsuz etki yapan ve istenmeyen seslere gürültü denilmektedir. Ayrıca gürültü; belirgin bir yapısı olmayan, içerdiği öğelerle kişiyi bedensel veya psikolojik olarak etkileyebilen ses düzeni olarak da tanımlanmaktadır.

Aynı eserde Gürültü için farklı tanımlar da bulunmaktadır: Gürültü Sesbilimde periyodik olmayan frekanslardan oluşan seslerin oluşturduğu sürekli yapıyı tanımlamaktadır. Sağlık alanında ise; insan üzerinde olumsuz etki yapan rahatsız edici seslere gürültü denmektedir. Belirgin bir yapısı olmayan, kişiyi bedensel veya psikolojik olarak etkileyebilen ses düzeni olarak da tanımlanmaktadır.

Çevresel Gürültü ise; Ulaşım araçları, kara yolu trafiği, demir yolu trafiği, hava yolu trafiği, deniz yolu trafiği, açık alanda kullanılan teçhizat, şantiye alanları, sanayi tesisleri, atölye, imalathane, işyerleri ve benzeri ile dinlenme ve eğlence yerlerinden çevreye yayılan, istenmeyen veya zararlı açık hava seslerinin tümü olarak tanımlanmaktadır (ÇYGM, 2011).

Bir kuvvetin etkisiyle bir ortamda ani ve geçici bir değişiklik meydana geldiğinde, bu değişiklik ortamın esnekliği sayesinde diğer noktalara yayılır. Titreşimlerin bu şekilde yayılması dalga hareketi oluşturur. Birçok dalga, her biri bir önceki dalgacığı sabit bir zaman aralığında takip eden dalgacık serilerinden meydana gelir. Birim zamanda (genelde 1 sn) üretilen dalgacık miktarına frekans denir (Şekil 2.2). Birimi Hertz (Hz)'dir (Bozkurt, 2013).



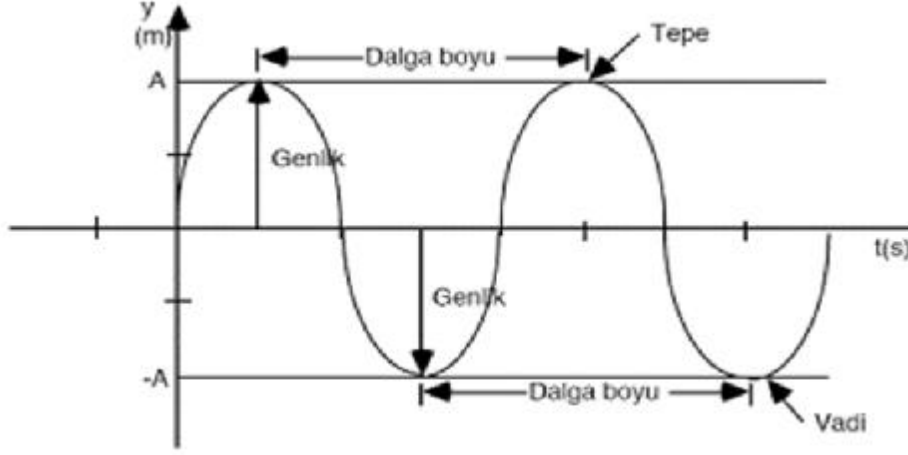
Şekil 2.2. Ses dalgasıyla ilgili kavramlar

Yüksek frekanslı dalgalar için Hertz'in 1000 katı olan kiloHertz (kHz) kullanılmaktadır. İnsan kulağının duyabileceği frekans aralığı yaklaşık olarak 16-16.000 Hz (bazı kaynaklara göre 20-20 000 Hz) dir. Bu değerler yaşı ve kişiyeye göre biraz değişim göstermektedir. İnsan kulağının en duyarlı olduğu frekans aralığı 1000 - 4000 Hz'dir,

Herhangi bir anda, iki komşu dalga arasındaki mesafeye dalga boyu adı verilir ve dalga boyu λ ile gösterilir. Periyot iki sıkışma veya iki gevşeme bölgesi arasındaki süreye veya bir titreşim için geçen süreye denir. Birimi saniyedir. Frekansla ters orantılıdır. Eşit zaman aralıklarıyla tekrarlanan harekettir.

Ses şiddeti dalga şeklinin formunun üst ve alt maksimum noktaları arasındaki mesafedir (Şekil 2.3) ve birimi desibel (dB) dir. Alexander Graham Bell'in anısına Bel adı verilen birim iki büyüklüğün oranının logaritması olarak tanımlanmaktadır. Yani 1 Bel, aralarında 10 kat olan iki büyüklüğü gösterir. Bu oran çok büyük olduğundan desibel adı verilmiş olan "iki büyüklüğün oranlarının logaritmasının 10 katı" olarak ifade edilen birim

daha yaygın olarak kullanılır. Bu sayılardan biri bilinen bir sayı olarak alındığı için; desibel, bir büyüklüğün referans büyüklüğe oranının logaritmasının 10 katıdır.



Şekil 2.3. Ses dalgasının genliği

2.2. Gürültünün Zararları

Gürültü ile etkileşim halinde olan insan davranışları iki grupta toplanmaktadır. Birincisi duygu ve duyuların ifade edilmesiyle belirlenebilen psikolojik rahatsızlık, ikincisi ise; çeşitli ölçme metotlarıyla açığa çıkan fizyolojik rahatsızlıktır. Bu sebeple, insan sağlığı ve konfor şartları açısından yapıların tasarım aşamasında gürültü kontrolü yapılması gerekir.

Gürültünün insan üzerindeki etkisi ve doğurduğu zarar başka şey; bir konuşmayı izlemek, müzik dinlemek vb. gibi durumlarda işitilmesi gereken seslerin işitilmesini güçleştirmek, engellemek, dikkati dağıtmak gibi rahatsız edici etkisi başka şeydir. Kısaca, birincisine zarar, ikincisine rahatsızlık denebilir. Doğal olarak rahatsızlığın dolaylı zararları da söz konusudur. Rahatsızlık konusu çok daha karmaşıktır. Değişik boyut ve etkenlerin ve öznel değerlendirmelerin de söz konusu olduğu rahatsızlık dışında yalnızca zarar konusu ele alınırsa, belli bir sınırdan söz edilebilir.

Gürültünün yüksek olduğu ortamda bulunmak işitme kayıplarına neden olmaktadır. Ayrıca gürültünün uyku bozukluğu, stres, iş yapabilme yeteneğinde azalma, kalp

hastalıkları, kalp krizi, felç ve yüksek tansiyon hastalıklarına yol açtığı da belirlenmiştir. (Güler ve Çobanoğlu, 1994, Lusk vd, 2017)

Gürültünün çocuklar üzerindeki zararları daha ciddi boyutlardadır. Yukarıdaki zararlara ek olarak, hamilelerin düşük kilolu doğum yapması, çocuklarda okuma becerisini azaltma ve hafıza sorunlarına yol açarak okul başarısını düşürme etkileri yarattığı belirlenmiştir. (Lusk vd, 2017)

Birçok ülkede yapılan çalışmalar yerleşim yerlerindeki en yaygın, en önemli ve en fazla sayıda insanı etkileyen gürültü kaynağı olarak trafik gürültüsünü işaret etmektedir (Berglund vd, 1999).

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Kılavuzu gürültüyü Çizelge 2.1’de gösterildiği gibi sınıflandırmaktadır. Aynı kılavuzda gürültünün temel zararları Çizelge 2.2 deki gibi özetlenmiştir. (ÇYGM, 2011).

Çizelge 2.1. Gürültü zararlarının sınıflandırılması

I. Derecedeki Gürültüler 30 – 65 dBA	<ul style="list-style-type: none"> • Konforsuzluk • Rahatsızlık • Sıkılma duygusu • Kızgınlık • Konsantrasyon • Uyku Bozukluğu
II. Derecedeki Gürültüler 65 – 90 dBA	<ul style="list-style-type: none"> • Fizyolojik gürültü • Kalp atışının değişimi • Solunum hızlanması • Beyindeki basıncın azalması
III. Derecedeki Gürültüler 90 – 120 dBA	<ul style="list-style-type: none"> • Fizyolojik gürültü • Baş ağrısı
IV. Derecedeki Gürültüler 120 – 140 dBA	<ul style="list-style-type: none"> • İç kulakta bozukluk
V. Derecedeki Gürültüler 140 > dBA	<ul style="list-style-type: none"> • Kulak zarının patlaması.

Çizelge 2.2. Gürültü zararları

1) Fiziksel Etkenler	<ul style="list-style-type: none"> • İşitme Hasarlılığı
2) Fizyolojik Etkenler	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Vücuttaki Bozukluklar</i> • <i>Kalp atışının bozulması</i> • <i>Kesiklik</i> • <i>Metabolizmada bozukluk</i> • <i>Uyku bozukluğu</i>
3) Psikolojik Etkiler	<ul style="list-style-type: none"> • Sinir sistemi dejenere olur • Aşırı tepkiler • Hoşnutsuzluk, tedirginlik duygusu
4) Performans Etkileri	<p><i>Eylem üzerindeki etkisi</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Konuşma ile girişim olayının olması konuşmanın kesilmesi</i> • <i>Dinleme ve anlaşma güçlüğü</i> • <i>Konsantrasyonun kesilmesi</i> • <i>Dinlenmenin etkilenmesi</i>
5) Dinlenme ve bozukluğu	

Tabii yukarda bahsedilen bu sağlık etkileri dışında gürültünün ekonomik etkileri de vardır. Örneğin Blanco ve Flindel (2014), Brandt ve Maennig (2011), Szczepanska vd (2015) ve Kim vd (2007) karayolu trafiği gürültüsünün mülk fiyatlarına ciddi etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır.

Gürültünün seviyesi birçok durumda gürültünün karakterinden daha önemsizdir. Örneğin bir komşunun TV veya müzik sesi veya sürekli köpek havlaması ses seviyesi düşük olsa bile daha rahatsız edici olabilir (Fahy ve Walker, 1998).

Toplumların ve bireylerin gürültüye karşı olan toleransları farklılıklar göstermekte olup, genel olarak 4 başlık altında incelenmektedir:

2.2.1. Fiziksel etkiler

Gürültünün insanın işitme fonksiyonunda sebep olduğu olumsuz etkilerdir. Geçici ve kalıcı olarak iki kısımda irdelenebilir. Geçici etkilerin en çok karşılaşılanı geçici işitme eşiği kayması ve duyma yorulması olarak bilinen işitme duyarlılığındaki geçici kayıptır.

Etkilenmenin çok fazla olduğu ve işitme sisteminin eski özelliklerine kavuşmada tekrar gürültüye maruz kaldığı durumlarda kalıcı işitme kaybı olmaktadır.

Olması gerekenden yüksek ses düzeyi ile karşılaşıldığında ses iç kulaktaki sinir uçlarını öldürmeye başlar.

Yüksek sese maruziyet süresinin uzamasıyla daha fazla sinir ucu harap olur. Sinir ucu sayısı azaldıkça da işitme azalır, ölü sinir uçlarını canlandırmak mümkün değildir ve sonuç olarak hasar kalıcıdır.

Yukarıda bahsedildiği üzere yüksek düzeyli gürültü, seviyesine bağlı olarak belirli bir maruz kalma zamanında geçici veya sürekli işitme kaybı, kulak çınlaması ve akustik travmaya neden olabilmektedir. İşitme kaybı genel olarak işitme eşiğinin yükselmesi olarak tanımlanmaktadır. Gürültü kaynaklı işitme kayıpları esas olarak 3000-6000 Hz arasında oluşsa da, 8 saat gibi uzun bir süre 2000 Hz gürültüye maruz kalmak bile işitme kayıpları oluşturabilir. Dünya çapında 120 milyondan fazla insanda gürültü kaynaklı ve geri döndürülemez işitme kaybı sorunu bulunduğu tahmin edilmektedir. Erkek ve kadınların aynı ölçüde risk altında bulunduğu tespit edilmiştir. Yetişkinlerde 140 dB ve çocuklarda 120 dB genel sınır değer olarak uygulanmalıdır. 24 saatlik ortalama gürültü 80 dBA değerini geçtiğinde işitme kaybı riski artmaktadır. Kulakta meydana gelen işitme hasarları, orta ve iç kulakta bulunan işitme sinirlerinin bağlı olduğu işitme hücrelerinde meydana gelen bozulmadan kaynaklanmaktadır. Ayrıca 120 dB gürültü seviyesi kulak içi acı eşiği olarak tanımlanmaktadır (WHO, 1999; Paşaoğlu, 2013).

2.2.2. Fizyolojik etkiler

Gürültünün yüksek kan basıncı (hipertansiyon), adrenalın yüksekliği, solunum ve kalp atış hızında artış, adale kasılmaları ve strese sebep olduğu bulunmuştur. Bu fizyolojik tepkiler bir arada olduğunda stres, ülser, astım, tansiyon, baş ağrıları vb. rahatsızlıklar meydana gelmektedir (WHO, 1999; Paşaoğlu, 2013).

Bu etkiler uyku sırasında daha belirgindir. Japonya'da, hamilelikte gürültünün etkisi konusunda yapılan çalışmalarda düşük ağırlıklı bebek doğumları ile gürültü ilişkisi

bulunmuştur. Annenin gürültüye verdiği tepki, doğmamış bebekler gürültüden korunamadıklarından aynen onlara da geçmiştir. İnsanların gürültüye alışabildikleri düşüncesi, biyolojik değişikliklerin önlenemediği düşünüldüğünde doğru olmayan bir varsayım olarak kalmaktadır (WHO, 1999).

2.2.3. Psikolojik etkiler

Yüksek düzeyde gürültüye maruz kalan kişiler rahatsızlık, sıkıntı ve gerilim duyguları yaşamaktadır. Bireylerin kızgınlık ve öfke durumları, bireyin kendisini suçlayarak ve çevresine karşı ilgisini kaybederek içe kapanma halleri en çok karşılaşılan davranış bozukluklarıdır (WHO, 1999; Paşaoğlu, 2013).

Bilimsel araştırmalar ile gürültüye maruz kalmış insanların hemen hepsinde çeşitli psikolojik rahatsızlıklar saptanmıştır. Gürültülü yerlerde yaşamının en belirgin sonucu rahatsızlık, sıkıntı ve gerilim duygusunu yoğun şekilde yaşamaktır. Gürültülü ortamlarda çalışan kişilerin rahatsız, tedirgin ve agresif oldukları, gürültünün ortadan kalkması sonucunda bile belli bir süre tedirginlik ve sinirlilik halinin devam ettiği çalışmalarla ortaya konulmuştur. Sinirlilik halinin sıkça yaşanmasının sonucu olarak da bu kişilerde mide, bağırsak rahatsızlıklarının olma riskinin her zaman diğer kişilere oranla daha yüksek olduğu bilinmektedir. Gürültü sınır değerlerinin aşıldığı durumlarda yorgunluk ve zihinsel faaliyetlerde yavaşlama gözlenmektedir. Ayrıca aniden oluşan gürültü insanlarda korku, irkilme meydana gelmekte, gürültünün ortadan kalkması ile birlikte bu durum zaman içinde kaybolmaktadır (WHO, 1999; Ongel ve Sezgin, 2016).

2.2.4. Performans etkileri

Dikkat gerektiren okuma ve dinleme gerektiren öğrenimler gürültü ile olumsuz etkilenir. Yüksek düzeyli gürültü, insanlar arası iletişimi zorlaştırır. Alçak frekanslı konuşma sesleri, yüksek frekanslı sesler tarafından maskelenince konuşma kesintiye uğrayabilir ve daha yüksek sesle konuşma ihtiyacı duyulabilir. İnsanların yüksek seviyeli gürültülü ortamlarda daha az konuştukları, hatta kendi kendilerine konuştukları görülmektedir. Yapılan araştırmalara göre karayolları, demiryolları ve havaalanları yakınında bulunan okullarda eğitim gören öğrencilerin okuma, dinleme, anlama ve öğrenme seviyelerinde ciddi

azalmalar görülmektedir. Ayrıca derslerde öğrencilerin ilgisinin başka yönlere kaydığı, öğretmenlerin de yüksek sesle ders anlatma ve konuşma gereksinimlerinden dolayı aşırı yorgunluk ve stres gibi rahatsızlıklar yaşadığı anlaşılmaktadır. (WHO, 1999; Paşaoğlu, 2013).

Yener (2017) derlemiş olduğu gürültünün sağlık etkilerinin başlangıç seviyelerini Çizelge 2.3 ile vermiştir.

Çizelge 2.3. Gürültünün sağlık etkilerinin başlangıç seviyeleri

Sağlık etkisi	Zaman dilimi	Başlangıç seviyesi (dBA)	Kaynak
Rahatsızlık	L_{gag}	42	Karayolu, Demiryolu
Uyku bozukluğu	L_{gece}	50	Karayolu, Demiryolu
Hipertansiyon	L_{gag}	50	Karayolu, Demiryolu
Koroner kalp hastalıkları	L_{gag}	50	Tüm kaynaklar
İnme	L_{gag}	50	Tüm kaynaklar

2.3. Gürültünün Özellikleri ve Ölçümü

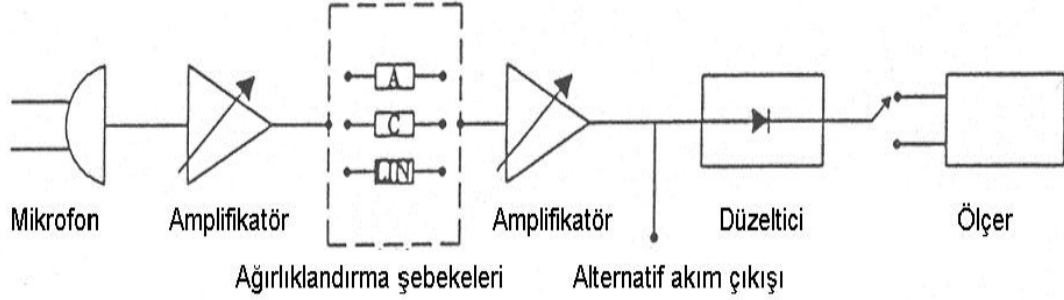
Gürültünün ölçülmesi için Şekil 2.4 de gösterilen şekilde bir düzenek kurulmalıdır. Bu düzenek 4 ana bileşenden oluşur:

1) Mikrofon ya da dönüştürücü: Basınca hassas bir diyafram sayesinde, ses basıncındaki değişimleri, değişik elektrik akımlarına dönüştürür.

2) Amplifikatör: Çok küçük elektrik akımı sinyallerini kullanılabilir bir seviyeye yükseltir.

3) A-ağırlıklı Şebeke ya da diğer elektronik filtreler: Elektrik sinyalini analiz eder.

4) Sayaç: Elektrik sinyallerinin analog ya da dijital değerlerini dB olarak gösterir.



Şekil 2.4. Ses ölçüm düzeneği (ÇYGM, 2011)

Ses enerjisinin gücüne ses gücü (veya akustik güç), bu gücün düzeyine ise ses gücü düzeyi (L_w) adı verilir. Referans güç değeri olarak uluslararası kabul gören referans değeri $W_0 = 10^{-12}$ W kullanılır. Yukarıdaki tanıma göre, ses gücü W olan bir kaynağın ses gücü düzeyi L_w ,

$$L_w = 10 \log \frac{W}{10^{-12}} \quad (2.1)$$

formülüyle hesaplanır.

Çevre gürültüsünün değerlendirilmesi için Birleşmiş Milletler Çevre Koruma Bölümü tarafından tercih edilen yöntem Eşdeğer Sürekli Ses Basınç Düzeyi yöntemidir. L_{eq} fonksiyonu belli bir periyot için zaman değişkenine göre tek sayı ölçü elde edilmesini sağlar. Diğer bir deyişle belirli bir T zaman aralığında düzenli veya düzensiz olarak süreklilik gösteren toplam ses enerjisinin veya ses basınçlarının ölçüm süresine bölünmesiyle elde edilen dBA biriminde bir gürültü ölçüğüdür. Ses düzeyinde alçalıp yükselme olan veya ses düzeyinin kararsız değişimler gösterdiği durumlarda eşdeğer sürekli ses düzeyi kullanılması daha uygun bulunmuştur. Yani Eşdeğer sürekli ses düzeyi (veya eşdeğer ses düzeyi veya eşdeğer gürültü düzeyi) verilen bir zaman aralığında, söz konusu ses ile aynı toplam enerjiye sahip, sabit sesin düzeyidir (Bozkurt, 2013).

Zaman içinde değişen bir gürültünün eşdeğer gürültü düzeyinin elde edilebilmesi için; küçük zaman aralıklarıyla (örneğin 0,5 saniye) gürültü düzeylerinin anlık değerlerinin ölçülmesi, bu değerlerin basınç birimine çevrilip zamansal ortalamasının bulunması ve sonucun logaritmik birime çevrilmesi gerekir (Kurra, 2009).

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad (2.2)$$

Bu formülde;

T : ölçüm süresi

p(t) : ölçülen sesin A ağırlıklı ses basıncı

p₀ : referans ses basıncı

Bu yöntemin çevre gürültüsü ölçümü konusunda tercih edilmesinin temel sebepleri şunlardır:

- Gürültünün insan üzerindeki etkilerini çok iyi yansıtmaması,
- Oldukça basit hesaplanabilir, kesin sonuç verir ve pratik bir yöntemdir,
- Hem yeni projelerin planlanmasında, hem de uygulamada kullanılabilir,
- Gerekli ölçüm cihazları ucuz, standart ve kolay bulunabilirdir,
- Eskiden beri kullanılan yöntemlere çok benzemesi (Bozkurt, 2013)

L_{eq}, insan kulağının duyarlılığını dikkate alan A ağırlıklı ses düzeyini verir ve dBA ile ölçülür. ISO 1996-1 standardına göre, eşdeğer ses düzeyi L_{AeqT} şeklinde gösterilir. Bu gösterim A ağırlığı kullanıldığını ve hesap veya ölçüm süresini gösterir. Bu gösterimde T değeri saat cinsinden yazılır. Zaman aralığı çok uzun olduğundan L_{eq}'nin, ses düzeyi ölçerlerle doğrudan ölçülmesi pratik olmaz. Gündüz-akşam-gece gürültü düzeyi, 24 saat boyunca aralıklı olarak ölçülen ve çok sayıdaki gürültü düzeyinden yararlanarak şöyle bulunur: Önce gündüz, akşam ve gece ölçümlerinin kendi aralarında ayrı ayrı ortalamaları alınarak; gündüz, akşam ve gece sürelerindeki eşdeğer gürültü düzeyleri L_{gündüz}, L_{akşam} ve L_{gece} hesaplanır. L_{gece}'yi 10 dB, L_{akşam}'ı 5 dB Artırıp, L_{gündüz} ile ağırlıklı ortalamalarını alarak L_{gag} bulunur. Bunun için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$L_{gag} = 10 \log \frac{1}{24} \left[12 * 10^{\frac{L_{gündüz}}{10}} + 4 * 10^{\frac{(L_{akşam}+5)}{10}} + 8 * 10^{\frac{(L_{gece}+10)}{10}} \right] \quad (2.3)$$

Önemini arttırmak için akşam gürültü seviyesine 5 dB ve gece gürültü seviyesine 10 dB ceza değeri ilave edilerek L_{gag} bulunmaktadır (EU,2002).

Bu formülde gündüz süresi 07:00-19:00 arasında 12 saat, akşam süresi 19:00-23:00 arasında 4 saat ve gece süresi 23:00-07:00 arasındaki 8 saat alınmıştır. Ancak ülke veya bölge bazında bu sürelerin değiştirilebileceği ifade edilmiştir (Kang, 2007)

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Kılavuzuna göre bazı ses kaynaklarının dB değerleri ve insanlar üzerindeki genel algılaması Çizelge 2.4'de verilmiştir (ÇYGM, 2011).

Çizelge 2.4. Bazı ses kaynaklarının dB değerleri ve algılanması

(dB)	Örnekler	Subjektif Değerlendirme
140	Jet motoruna yakın	Hasar verici
130	Ağrının başlangıcı	
105	Kuvvetli rock müzik	
100	3 m uzaklıkta otomobil klakson sesi	Çok yüksek
90	Şehir cadde gürültüsü	
82	Fabrika gürültüsü	
80	Akustik yalıtım yapılmamış okul, kantin gürültüsü	Yüksek
62	Açık trafikli yol	
62	Tali bir yolun gürültüsü	Orta
50	Büro gürültüsü	
40	Konutta düşük düzeyde çalınan müzik	Düşük
20	Fısıltı	Çok düşük
8	İnsanın nefes alış-verişi	
0	İşitmenin başlangıcı	

Frekans ağırlıklandırma sistemi artık yaygın olarak kullanılmaktadır. A tipi bütün dış mekân ölçümlerinde kullanılan tip olmuştur. Bu sistem yüksek ve alçak frekansların ağırlığını azaltır ve üst-orta bant frekansların (1 kHz ile 4 kHz aralığı) ağırlığını artırır (Fahy ve Walker, 1998).

Yener (2017) yüksek lisans tez çalışmasında İzmir’de ulaşımdan kaynaklı gürültü rahatsızlığını belirlemeye çalışmıştır. Anket sonuçlarına göre; eğitim düzeyi arttıkça gürültüden rahatsız olanların sayısı artmaktadır. Erkek katılımcılar, kadınlardan ve sosyo-ekonomik seviyesi yüksek olanlar düşük olanlardan daha fazla rahatsızlık hissetmektedir. Ayrıca çalışan katılımcıların gürültü konusunda daha hassas olduğu belirlenmiştir.

Bu bilgilerle yapılan değerlendirmeler sonucunda İzmir’de karayolu ve demiryolu kaynaklı gürültünün sağlığını etkileyecek seviyede olduğu belirlenmiştir. Karayolu kaynaklı gürültü rahatsızlığının, demiryolu kaynaklı olana göre daha yüksek düzeylerde ortaya çıktığı da değerlendirilmiştir.

Özbek (2012) yüksek lisans tez çalışmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Karayolu Ulaşımı İçin Uygun Gürültü Perdesi Yerlerini belirlemiştir.

Dal (2015) Sakarya D100 (E5) karayolu trafik gürültüsünün değerlendirilmesi çalışmasını yapmıştır. Çalışma sonucunda ölçüm yapılan 15 noktanın tamamında gürültü seviyelerinin, Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültü Eylem Planı 2009-2020’ye göre WHO, EPA ve EEA kuruluşlarına göre belirlenmiş olan 55 dBA sınırını aştığını belirlemiştir.

Sirel (1988), desibel’in logaritmik yapısını açıklamak için aşağıdaki örnekleri vermiştir:

“Aynı melodiyi

1 keman yerine 2 kemanın çalması 3 dB bir artışa

1 keman yerine 5 kemanın çalması 7 dB bir artışa

1 keman yerine 100 kemanın çalması 20 dB bir artışa neden olur.

Açık havada, noktasal bir kaynaktan küresel dalgalar biçiminde yayılan ses enerjisi uzaklığın karesi ile azaldığından, uzaklığın her iki katına çıkışında ses düzeyi 6 dB azalır.

Örneğin, kaynaktan:

1 m uzakta 100 dB ise

2 m uzakta 94 dB

4 m uzakta 88 dB

256 m uzakta 52 dB olur.”

2.4. Karayolu gürültü kaynakları

Ulaşım gürültüsü veya diğer bir değişle trafik gürültüsü; gerçekte havayolu, karayolu ve demiryolu trafiği gürültüsünü kapsamına almaktadır.

Çeşitli ülkelerde yapılan araştırmalar bir yerleşim yerinde en önemli, en yaygın ve en çok sayıda kişiyi etkileyen gürültü kaynağının, trafik gürültüsü olduğunu ortaya koymuştur (Berglund, vd., 1999) Trafik gürültüsünün başlıca kaynağı ise motorlu araç trafiğidir.

Motorlu araç gürültüsünün temel nedenleri egzoz, hava alışı, motor hareketleri, fanlar ve yardımcı ekipmanları, lastikler, transmisyon, şaft ve araç gövdesinden kaynaklanan hava sürtünmesinden kaynaklanan gürültüdür. Buradaki her bir bileşen araç tipi ve durumuna, araç yüküne, hıza, hızlanmasına, yol eğimi ve karayolu yüzeyinin durumuna bağlıdır (Wilson, 2006)

Trafikten kaynaklanan gürültü çoğunlukla makine-egzoz gürültüsü ve lastik-yol etkileşimi gürültüsüne bağlıdır. Makine-egzoz gürültüsü sırasıyla taşıt teknolojisine, yolun ve kullanım alışkanlıklarından kaynaklanan aracın hızına ve vites kullanımına; lastik gürültüsü ise, aracın hızına ve yol yüzey kaplamasının kalitesine bağlıdır. Örneğin, dört vitesli bir arabada genellikle motor ve egzoz gürültüsü bir ve ikinci viteslerde ağır basarken, üçüncü viteste motor, egzoz ve lastik gürültüleri eşit miktarda etkili olmakta ve dördüncü viteste ise, lastik gürültüsü ağır basmaktadır (Bies ve Hansen, 2003).

Karayolu gürültüsü yolun tek yönlü veya bölünmüş yol olmasına, şerit sayısına, orta refüjde kullanılan fiziki engel durumuna vb. göre gürültü seviyelerinde değişiklikler görülmektedir. Yoldaki iniş eğimi gürültü seviyesinde azalmaya neden olmaktadır. Yokuş yukarı eğimlerde ise eşdeğer düzey bir miktar artmaktadır. Yol platform kaplamasının dokusu, boşluk yüzdesi, yoğunluğu, kaplama yüzeyinin kuru ya da ıslak olması vb. nedenlere bağlı olarak farklı davranışlar meydana gelmektedir.

Karayolundan kaynaklanan gürültünün başlıca nedenleri Çizelge 2.5'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.5. Karayolu ulaşım gürültüsünü etkileyen faktörler (Kurra, 2009)

Tek taşıtlar:
- Taşıt tipi (ağırlığı, aks sayısı) ve modeli: Ağır, orta ve hafif taşıt grupları
- Motor gücü ve yapısı: Benzinli veya dizel motorlu
- Hızı ve ivmesi (devir sayısı)
- Radyatör, fan, iletim sistemi ve frenler
- Lastik tipi
- Egzost ve susturucular
- Yaşı ve bakımı
- Klakson ve korna özelliği
Ulaşım akımı:
- Ulaşım akımı niteliği (duraklı, duraksız, serbest akışlı)
- Ulaşım hacmi (taşıt/birim zaman: saat veya gün)
- Kompozisyonu: Ağır,hafif taşıt yüzdesi
- Ortalama hız
Ulaşım yolları:
- Yol genişliği
- Yol eğimi
- Kavşaklar ve trafik ışıkları
- Dönemeçler: Eğrilik yarıçapı
- Yolun çevreye göre kotu (çöktürülmüş veya yükseltilmiş yol skrüktürleri)
- Şevler ve yarmalar
- Yol kaplaması türü
- Yolların bakımı durumu (yıpranma, bozulma vb.)
- Tüneller

Yukarıda sayılan maddeler dışında hava sıcaklığı, rüzgâr şiddeti ve yönü de gürültü seviyesi üzerinde etkilere sahiptir (Bozkurt, 2013).

Karayolu araçları demiryolu araçlarına göre daha az gürültü yaratsa da, demiryolu araçları bir seferde çok daha fazla yük taşıdığından, gürültü seviyesi yük miktarına göre normalize edilirse, demiryolu araçlarının gürültü seviyesi 8 dB daha az olmaktadır (Thompson, 2009).

Motor silindirindeki yakıtın yanması bir basınç darbesi oluşturur. Bu darbe silindir ve motor yan duvarlarının titreşimine neden olur. Bu titreşimler havada basınç değişimi yani ses oluşmasına neden olur. Bu gürültünün azaltılması için pahalı motor modifikasyonları gerektiğinden, araç üreticileri genelde yayılan gürültünün izolasyonu için çalışmalar yürütmektedirler (Çelik, 2009).

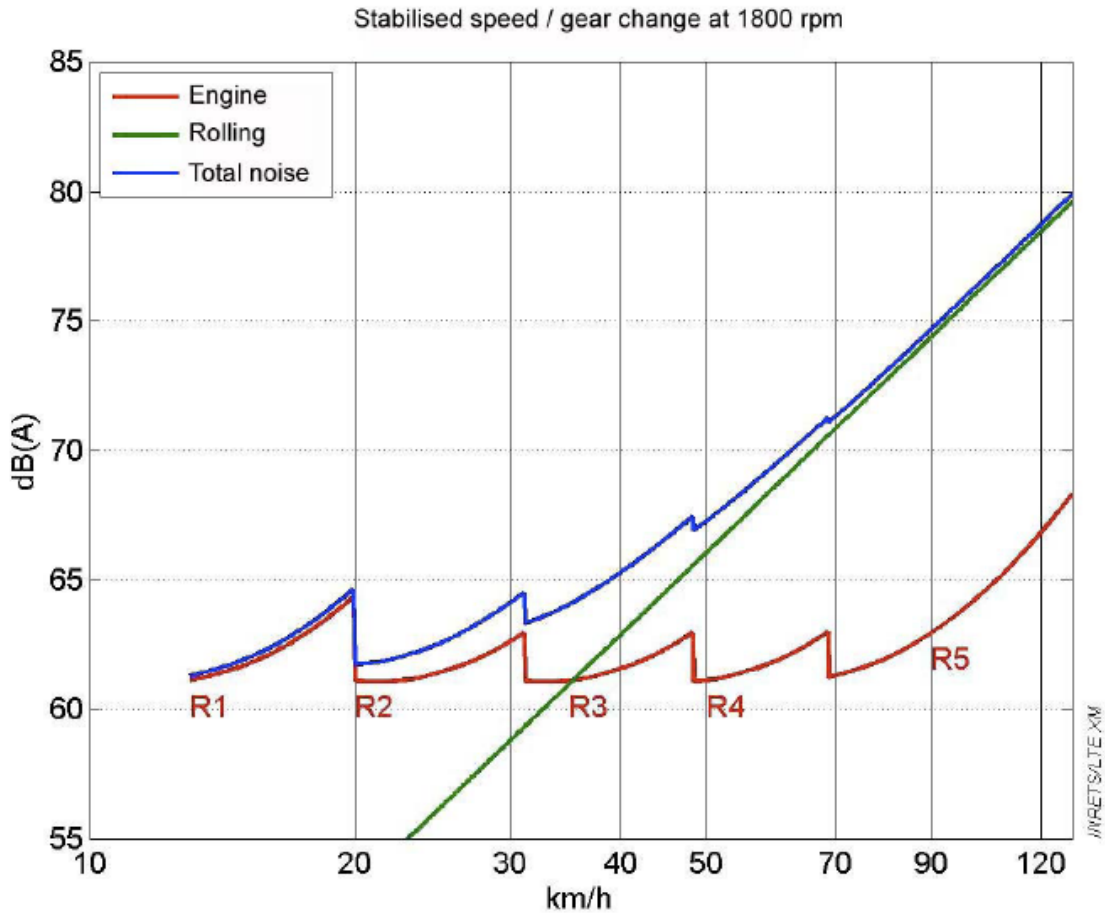
Egzoz gürültüsünün, motorlu araçların yarattığı toplam gürültü içindeki payı, araç ve egzoz susturucusu tipine bağlı olarak değişmekle birlikte, düşük hızlarda %40

civarlarındadır. Egzoz sisteminin en önemli görevi; yanma sonrası oluşan gazları en az kayıpla atmosfere atmak, ikinci görevi ise motor gürültüsünün çevreye yayılmasını engellemektir. Ancak bu iki olay birbirini ters yönde etkilediğinden, egzoz tasarımında, gürültü azaltılması ile motor performansı ve yakıt ekonomisi arasında optimum noktayı bulmak gereklidir (Çelik, 2009).

Rüzgâr gürültüsü yüksek hızlarda oldukça önemli hale gelmektedir. Bu gürültünün sebebi aracın dış gövdesindeki hava akışı ve türbülanslardır. Motorlu taşıtların aerodinamiği ile seyir rüzgârı gürültüsü son derece ilişkilidir. Bu gürültü özellikle araç içindekiler için çok daha önemlidir. Bu sebeple araç izolasyonu oldukça önemli hale gelmektedir (Çelik, 2009).

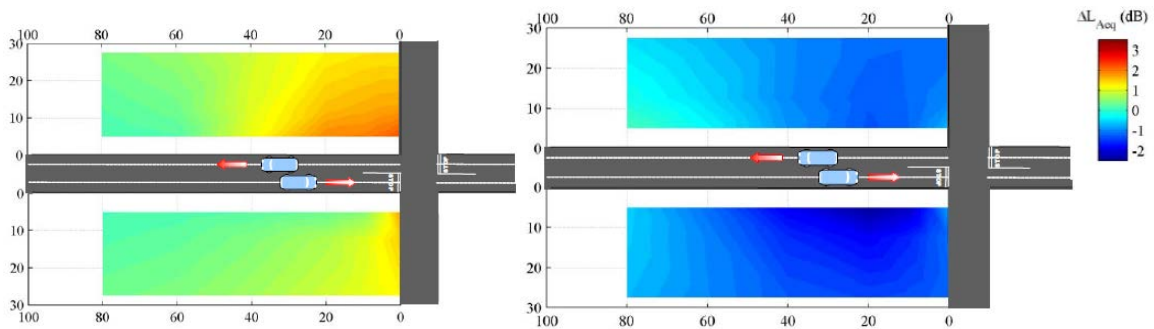
Şehir içindeki düşük hızlarda motorlu taşıtların en önemli gürültü kaynakları motor, aktarma organları ve egzoz sistemi gürültüleridir. Yüksek hızlı şehir dışı karayollarında ise lastik yol etkileşimiyle oluşan gürültü en yüksek gürültü yayılımını oluşturmaktadır. Dizel motorlu kamyonlar dışında genel olarak, tüm motorlu taşıtlarda 100 km/saat ve üzeri hızlarda lastik-yol gürültüsü en büyük gürültü kaynağıdır. Küçük taşıtlar için bu hız 60 km/saat düzeyine kadar düşmektedir. Islak zeminde gürültü seviyesi daha da artış göstermektedir (Çelik, 2009).

Araça hızı ile gürültü arasında aşağıdaki Şekil 2.5’de gösterildiği gibi bir ilişki vardır. Özellikle yüksek hızlarda gürültü seviyesindeki ciddi artış dikkat çekicidir (Mitchell, 2009).



Şekil 2.5. Araç hızı ve gürültü seviyesi arasındaki ilişki

Sadece aracın hızı değil, hızlanma ve yavaşlama ivmesi de gürültü seviyesinde çok ciddi etkiye sahiptir. Aşağıdaki Şekil 2.6'da 50km/sa hızındaki araçların kasis veya kavşak bölgesinde 2 m/s^2 ve 1 m/s^2 ivmeleriyle hızlanması ve yavaşlaması durumunda ortaya çıkan gürültü seviyesi farkları gösterilmektedir (Mitchell, 2009).

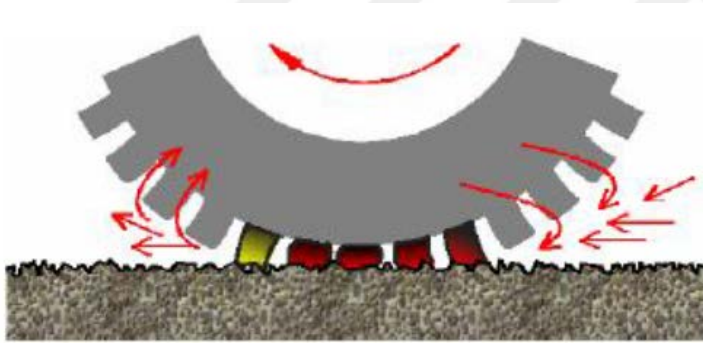


Şekil 2.6. 50km/sa hızındaki araçların kasis veya kavşak bölgesinde 2 m/s^2 ve 1 m/s^2 ivmeleriyle hızlanması ve yavaşlaması durumunda ortaya çıkan gürültü seviyesi farkları

Boztepe (2011) yüksek lisans tez çalışmasında soyulmuş agregalı beton yol yüzeyinin gürültü düzeyinin diğer beton yol yüzeyi çeşitlerine göre daha düşük olduğunu değerlendirmiştir. Özellikle şehir içinde yapılacak beton yollarda gürültü seviyesinin, asfalt betonu yollarla kıyaslanabilecek düzeyde, hatta daha düşük olabileceğini öngörmüştür.

Toklu (2011) yüksek lisans tez çalışmasında Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi B bloğundaki odaların Gürültü Kontrol Yönetmeliğinde Eğitim alanları için belirtilen 45 dB sınır değerinin 20-25 dB üzerinde gürültüye maruz kaldığını belirlemiştir.

Lastik yanaklarının yarattığı titreşimler, lastik-yol gürültüsünün ana kaynağıdır. Yol kaplamasının yüzey pürüzlülüğü ve gözenekliliği, lastik gürültüsünün azalmasını sağlamaktadır. Şekil 2.7’de gösterildiği gibi lastik basıncının normal değerinin üzerinde olması, sert lastik etkisi yaratır ve özellikle yüksek frekanslı gürültü seviyesini artırır (Çelik, 2009).



Şekil 2.7. Lastik-kaplama etkileşimi (ÇOB, 2008a)

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 gürültüsü lastik ve yol kaplamasının yüzey özellikleri ve ivmenin büyüklüğü ile bağlantılı olarak artmaktadır.

Trafikteki araçların seyir hızları da önemli değişkenlerdendir. Düşük hız, daha alçak gürültü yaratmaktadır. Düşük hızlarda aracın motor ve egzoz gürültüleri etkili iken, yüksek hızlarda yol-lastik etkileşimi etkili olmaktadır (Bay ve Güney, 1998).

Singal (2005) karayolu kaynaklı gürültünün hesaplanması için geliştirilen birçok formülü irdelemiştir. Bunlardan en eskilerinden biri 35-45 mil/sa arasındaki hızlar ve 6 metreden büyük mesafeler için Anon tarafından 1952 yılında önerilen formüldür:

$$L_{50} = 68 + 8,5 \log(V) - 20 \log(D) \quad (2.4)$$

Bu formülde;

V: Saatlik trafik hacmi

D: Trafik şeridine uzaklık

1965 yılında Nickson ve Lamure ayrı çalışmalarda aynı formüle ulaşmışlardır:

$$L_{50} = C + 10 \log(V/D) \quad (2.5)$$

Bu formülde;

C: Sabittir

Araç hızı ilk olarak 1968'de Johnson formülüne girmiştir:

$$L_{50} = 3,5 + 10 \log(V \cdot S^3 / D) \quad (2.6)$$

Bu formülde;

S: Ortalama araç hızıdır (mil/sa)

Araç cinsleri ilke kez 1969 yılında Galloway tarafından geliştirilen modelde yer almıştır:

$$L_{50} = 20 + 10 \log(V \cdot S^2 / D) + 0,4 (p) \quad (2.7)$$

Bu formülde;

p: Ağır kamyon oranıdır

Bazı geliştirilen modellerde ise eşdeğer gürültü seviyesi (L_{eq}) kullanılmıştır:

$$L_{eq} = 55,5 + 10,2 \log Q + 0,3 p - 19,3 \log(L/2) \quad (\text{Burgess}) \quad (2.8)$$

$$L_{eq} = 38,8 + 15 \log Q - 10 \log L \quad (\text{Josse}) \quad (2.9)$$

$$L_{eq} = 10 \log (N_c + N_m + 8N_{hn} + 88N_b) + 33,5 \quad (\text{Fagoti}) \quad (2.10)$$

$$L_{eq} = 10 \log (N_c) + p \quad (\text{Fagoti}) \quad (2.11)$$

Bu formüllerde;

p: Ağır kamyon oranıdır

L: Yol genişliğidir

Q: Toplam saatlik trafik hacmi

N_c : Saatlik hafif araç trafik hacmi

N_m : Saatlik motosiklet trafik hacmi

N_{hn} : Saatlik ağır taşıt trafik hacmi

N_b : Saatlik otobüs trafik hacmi

Bu formüllerde Q değeri bulunurken ağır taşıt sayısı 6 ile ve motosiklet sayısı 3 ile çarpılarak eşdeğer araç sayısı bulunmaktadır.

Bahsedilen formüllerin hepsi doğrusal olmayan ilişkiler içermekte ve sınırlı sayıda fiziksel parametreyi dikkate almaktadır. Ancak araç cinslerine göre gürültü seviyesi farkı gözletilmemesini eksiklik olarak gören Cvetkovic ve Prascevic 1997 yılında ayrı ayrı ekiplerle çalışarak aşağıdaki formülü önermişlerdir:

$$L_{eq} = 10 \log (N_c + b.N_{hn} + c.N_b) + k \quad (2.12)$$

Bu formülde;

b: Ağır taşıtın otomobile göre nispi akustik ağırlığı

c: Otobüsün otomobile göre nispi akustik ağırlığı

k: Gözlem noktasındaki ses yayılma özelliğine bağlı sabit

Niş kentinde yapılan ölçümler sonucunda aşağıdaki formülleri önermişlerdir:

$$L_{eq} = 10 \log (N_c + 3,7 N_{hn} + 1,9 N_b) + 38,2 \quad (55\text{dBA} < L_{eq} < 65\text{dBA}) \quad (2.13)$$

$$L_{eq} = 10 \log (N_c + 11,7 N_{hm} + 3,1 N_b) + 44,3 \quad (65\text{dBA} < L_{eq} < 75\text{dBA}) \quad (2.14)$$

2003 yılında Hendriks 90-105km/sa aralığındaki otomobil, orta büyüklükte kamyon ve ağır kamyonları dikkate alan bir başka gürültü modeli önermiştir:

$$L_{eq} = 5,2 + 38,8 \log (\text{ortalama hız, mil/sa}) \quad (\text{Otomobiller}) \quad (2.15)$$

$$L_{eq} = 35,3 + 25,6 \log (\text{ortalama hız, mil/sa}) \quad (\text{Orta büyüklükte kamyonlar}) \quad (2.16)$$

$$L_{eq} = 50,4 + 19,2 \log (\text{ortalama hız, mil/sa}) \quad (\text{Ağır kamyonlar}) \quad (2.17)$$

Bu formüllerdeki ölçümler en az 50 araç geçişine dayandırılmıştır. Hızlar radar cihazı ile ölçülmüştür. Başka kaynaklardan ses gelmesi önlenmiştir. Otomobil gürültüsünü ölçerken kısa bir aralık olmasını ve en az 100 metre mesafe içerisinde kamyon bulunmamasına dikkat edilmiştir. Ağır kamyon gürültü ölçümü nispeten daha kolaydır, çünkü tek bir kamyonun gürültüsü otomobilden 10 dB daha fazladır. Diğer araçlardan kaynaklanan gürültünün en az 10 dB üzerinde bir değer gözlenmiştir.

Hendriks 2003 yılında bir diğer formül daha önermiştir:

$$L(s_i) = 10 \log [S_i^{A/10} * 10^{B/10} + 10^{C/10}] \quad (2.18)$$

Bu formülde;

$L(s_i)$: i araç tipi için ölçülen referans seviyesi

S_i : Ölçülen ortalama hız, mil/sa

A, B ve C: Otomobiller, orta büyüklükte kamyonlar ve ağır kamyonlar için sabitler. Bu sabitlerin değerleri aşağıdaki Çizelge 2.6'da verilmiştir:

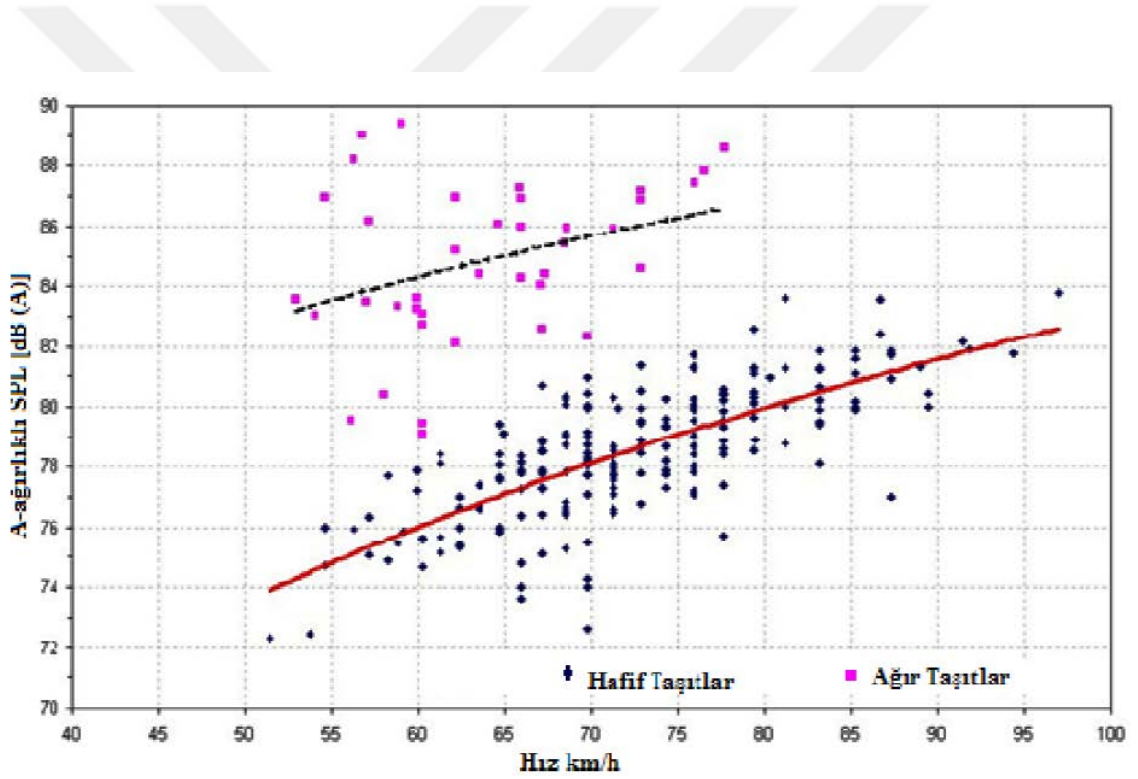
Çizelge 2.6. Otomobiller, orta büyüklükte kamyonlar ve ağır kamyonlar için Hendricks sabitleri (Singal, 2005)

Araç Tipi	A	B	C
Otomobiller	41,740807	1,148546	50,128316
Orta büyüklükte kamyonlar	33,918713	20,591046	68,002978
Ağır kamyonlar	35,879850	21,019665	74,298135

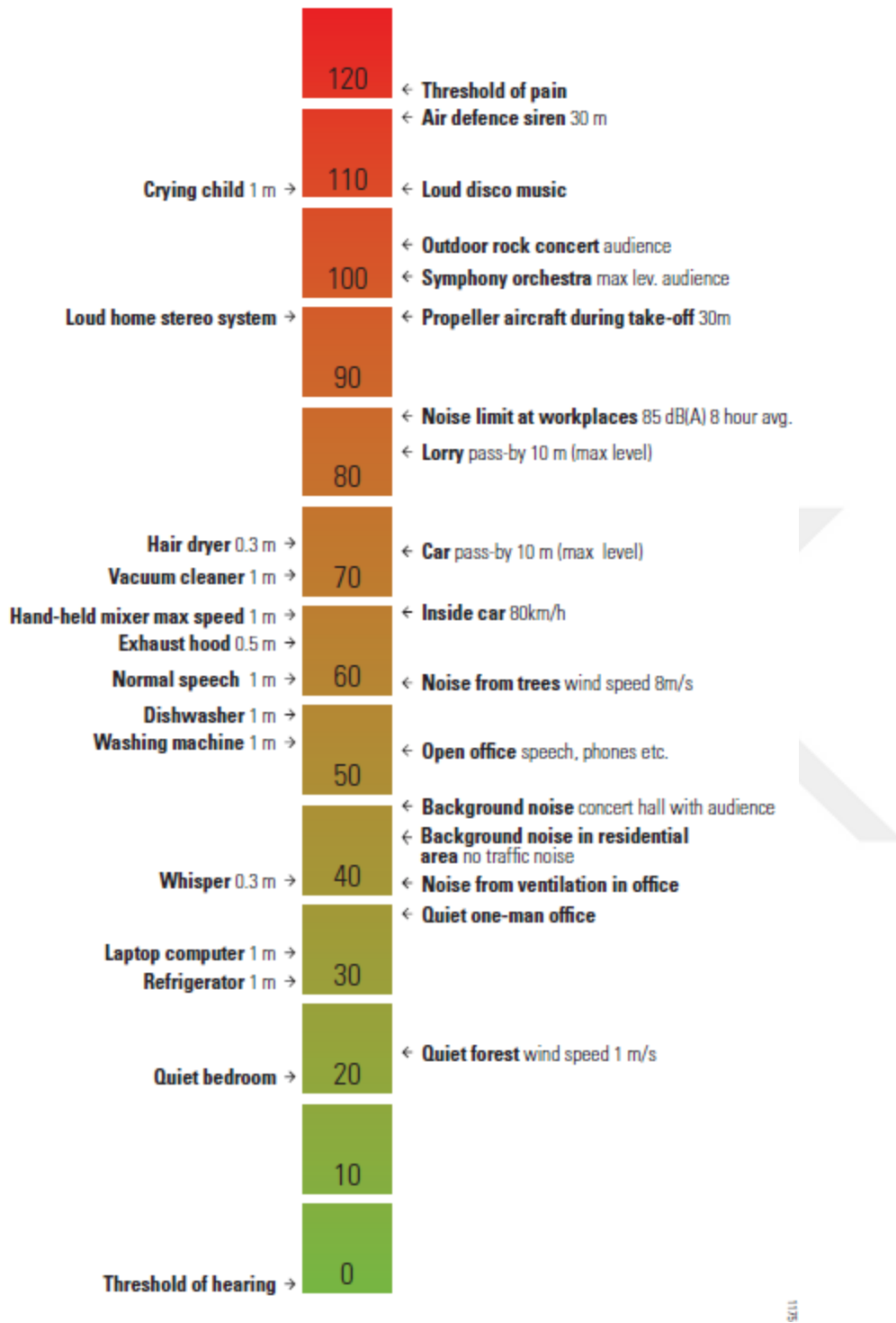
Çoklu araç tipleri için bu modelde tekrar değerlendirme yapılması gerektiği belirtilmektedir.

Yapılan araştırmalara göre taşıt sayısı ve türü ulaşım gürültüsü seviyesinde önemli değişiklik göstermektedir.

Kamyon sayılarındaki artış gürültü seviyelerinde artışa neden olup, bir kamyonun neden olduğu gürültü miktarının 4 binek arabaya eşdeğer olduğu tespit edilmiştir. Şekil 2.8 hafif taşıt ve ağır taşıtların gürültü seviyelerini, Şekil 2.9 ise otomobil ve kamyon dâhil olmak üzere farklı gürültü kaynaklarının gürültü seviyelerini göstermektedir.



Şekil 2.8. Farklı araç tipleri için hıza bağlı maksimum gürültü seviyeleri (Bozkurt, 2013)



Şekil 2.9. Farklı gürültü kaynakları için gürültü seviyeleri (TDEPA, 2018)

Cammarata ve ekibi 1995 yılında yapay sinir ağları yöntemiyle daha önce verilen Burgess ve Josse modellerinde ciddi iyileştirmeler yaptıklarını belirtmişlerdir.

Yukarıda bahsedilen ve başka birçok tahmin modeli, hız ve ağır taşıt düzeltmeleri içerseler de, tutarsız birimlere sahiptir. Ayrıca kullanılan referans değerleri güvenilirmezdir. Bu tutarsızlıklar trafik akım gürültüsü tahmini için daha karmaşık modellerin geliştirilmesine yöneltmiştir. Bunlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Federal Karayolu İdaresi (FHWA) Trafik Gürültü Tahmin Modeli 1978 yılında Barry ve Reagan tarafından ABD Ulaştırma Bakanlığı için geliştirilmiştir. FHWA Ulusal Ortak Karayolu Araştırma Programının (NCHRP) 1976 yılında yayınladığı raporu genişletip teknik rapor (FHWA-RD-77-108) olarak yayınlamıştır. Bu rapor STAMINA ismiyle geliştirilen bir hesap programı ve birkaç versiyonunu içermektedir.

Bu model hafif, orta ve ağır taşıtların noktasal ses kaynağı olarak sabit hızla hareket ettiğini ve yayılmanın mesafe etkisiyle azaldığını kabul etmektedir. Model karayollarının aliyman kesimlerinde çok iyi çalışabilmekteydi. Ancak kurp bölgeleri ve çok şeritli yollarda sorunlar görülmüştür.

Bu modelin ardından FHWA Trafik Gürültü Modeli Versiyon 1.0 geliştirilmiştir. 1996 yılında Anderson ve çalışma arkadaşları tarafından geliştirilen bu model, hızlanma, dur levhası, otoyol ödeme noktası, trafik sinyalleri gibi birçok önemli etkeni dikkate almaktaydı.

1976 yılında Delany önderliğindeki ekip tarafından geliştirilen CoRTN (Karayolu Trafik Gürültüsü Hesabı) yöntemi Birleşik Krallık Çevre Departmanı tarafından yol trafik gürültüsü tahmini için kullanılmıştır. Bu model yol tasarımında yardımcı olarak kullanıldı, ayrıca İngiliz Arazi Tazminat Yasasına göre özel mülklerdeki ses yalıtımları ödemelerinin hesaplanması için kullanılmıştır. Bu yöntem L_{10} gürültü indeksini kullanmıştır. Bu model sabit hız ve çizgi ses kaynağı kabulü yapmıştır. Referans mesafesinde saatlik L_{10} için CoRTN denklemi:

$$L_{10} = 10 \log q + 33 \log (v+40+500/v) + 10 \log (1+5p/v) + 0,3 G - 27,6 \quad (2.19)$$

Bu formülde;

q: akım oranı

v: hız

p: ağır taşıt oranı

G: eğim (rampalar için katsayısı 0,2 olmalıdır)

Bu modelin yüksek gürültü seviyelerinde düşük tahmin yaptığı ve alçak gürültü seviyelerinde ise yüksek tahmin yaptığı bulunmuştur. Ayrıca Samuels ve ekibi 1982 yılında bu modelin Avustralya araçlarıyla çok farklı sonuçlar verdiğini bulmuştur. 1985 yılında Steele bir vakada +12,5 dB fark tespit etmiştir. Modelin uzun bir hattaki serbest akan zirve saat trafiğinde iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ancak araçlar arası mesafeler çok farklı olduğunda model daha az uygun hale gelmektedir.

Bir Fransız firması MITHRA isimli bir ticari paket program geliştirmiştir. Yayılma özelliklerini oldukça ayrıntılı işleyen bu modelde, atmosferik etkiler ve yeryüzü etkileri, yerel topoğrafya, bina ve ekranlardan kaynaklanan yansıma ve kırılmalar da dikkate alınmıştır. Trafik çizgisel formda kaynak olarak tanımlanmıştır. Yollar 5 sınıfa ayrılmış ve 6 tip yol yüzey kaplaması dikkate alınmıştır. Bu yazılım ayrıca demiryolu kaynaklı gürültüyü de hesaplayabilmektedir.

İsviçre Federal Çevre Üretim Ofisi için Balzari ve ekibi tarafından 1988'de STL-86 Versiyon 1 geliştirilmiştir. Bu model, trafik modeliyle gürültü modelini birleştirmektedir.

Serbest akımlı karayolu trafiği için Japonya Akustik Derneği ASJ Yöntemini geliştirmiştir. Bu yöntem Koyasu tarafından 1978 yılında raporlanmış, 1994 yılında Takagi ve ekibi tarafından ve yine 1994 yılında Yamamoto ve ekibi tarafından geliştirilmiştir. Yöntem L_{eq} hesaplanmasına ve bundan sanal L_{50} elde edilmesine dayanmaktadır (Singal, 2005).

Singal (2005) tarafından özetlenen yukarıdaki gürültü tahmini modelleri ve yazılımları dışında da birçok ticari yazılım bulunmaktadır. Petrovici ve ekibi (2015) tarafından özetlenen en önemli yazılımlar şunlardır: IMMI, CadnaA, SPM9613, CUSTIC, Predictor-LimA Software Suite Type 7810, Acoustic Determinator 7816 ve SoundPLAN.

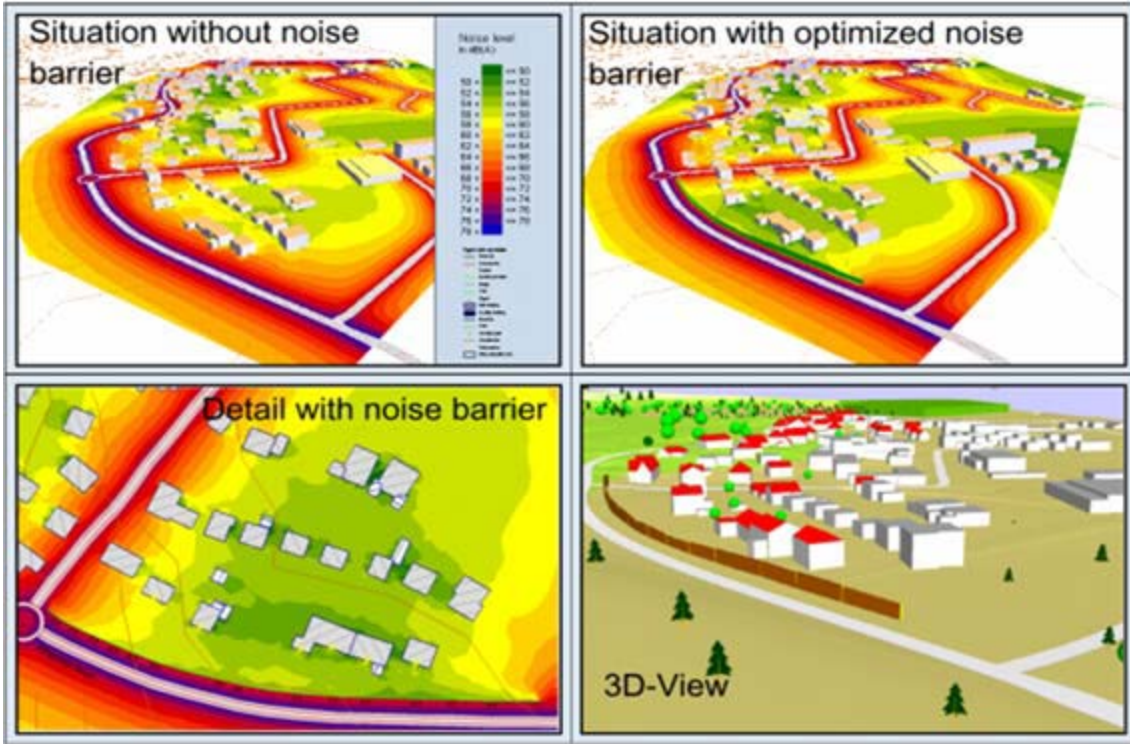
CadnaA (Computer Aided Noise Abatement – Bilgisayar Destekli Gürültü Azaltma); seçilen belli bölgelerde çevre gürültüsü kaynaklarından ses yayılımının modellenmesi ve ses düzeylerinin tahmin edilmesi amacıyla Datakustik firması tarafından geliştirilmiş Windows ortamında çalışan bir yazılımdır.

Wolfel firması tarafından üretilmekte olan IMMI, her tipteki gürültü kaynağı için (karayolu, demiryolu, endüstri, eğlence tesisleri, havaalanı) ve küçükten geniş ölçeğe kadar tüm ölçeklerdeki gürültü tahmini yapabilen ve gürültü haritası çıkarabilen bir yazılımdır.

Brüel&Kjær firması tarafından üretilen Predictor programı çevresel gürültüyü hesaplamak için kullanılan bir yazılım olup farklı gürültü hesaplama yöntemlerini içermektedir. Sanayi veya trafik gibi kaynaklardan oluşan gürültüyü hesaplamaya , analiz etmeye izin vermektedir. Küçük ölçekli etki değerlendirmelerinden geniş yığın haritalarına kadar bütün uygulamalar için de kullanılabilir.

Bunların içerisinde en yaygın kullanımı olan ve Gürültü Perdesi etkilerini de inceleyebilen SoundPLAN yazılımıdır (Şekil 2.10).

SoundPLAN, Braunstein and Berndt GmbH tarafından geliştirilmiştir. Gürültü planlaması için gerekli önerilerin ortaya çıkarılabilmesi, zaman, toplumsal veri tabanına erişim, analitik gereksinimlerle ve günümüzün sürekli değişen yasal çerçeveleri ile birlikte gelişip genişleyebilecek bir yazılım olma iddiasındadır.



Şekil 2.10. SoundPLAN yazılımındaki gürültü bariyeri öncesi ve sonrası gürültü haritaları örnekleri (Petrovici, 2015)

2.5. Gürültünün Önlenmesi İçin Kullanılan Yöntemler

Karayolu kaynaklı gürültünün azaltılması için, hızların azaltılması, sessiz asfalt üretilmesi, araç lastiklerinde özel önlemler alınması, araç motor gürültüsünün azaltılması, araç motoru çevresinde yalıtım yapılması, binalarda yalıtım yapılması ve karayolu kenarında gürültü perdesi yapılması gibi birçok yöntem bulunmaktadır.

Bir gürültü kontrol önleminin etkinliği ölçülürken Gürültü Azaltımı (NR) yani kontrol cihazının her iki yanı arasındaki aritmetik fark değeri kullanılır (Berger vd, 2000).

$$NR = L_{p1} - L_{p2} \quad (2.20)$$

Bu formülde;

L_{p1} = 1 nolu yerdeki gürültü seviyesi

L_{p2} = 2 nolu yerdeki gürültü seviyesi

Eklenen gürültü kontrol yönteminin etkinliğini ölçmenin diğer bir yöntemi ise Ekleme Kaybı (IL) değerinin hesaplanmasıdır. Bunun için aynı noktada alınan önlemeden önce ve sonra yapılan ölçümlerin farkları kullanılır.

$$IL = L_p - L_{p'} \quad (2.21)$$

Bu formülde;

L_p = gürültü kontrol yönteminden önceki ölçüm

$L_{p'}$ = gürültü kontrol yönteminden sonraki ölçüm

2.5.1. Sessiz asfalt üretimi

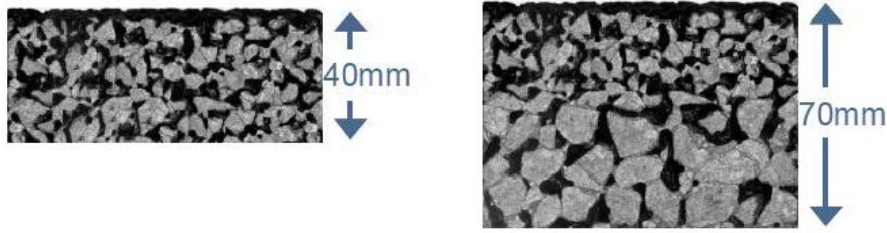
Yol yüzey kaplamasının pürüzlülük ve gözeneklilik durumunun hem gürültü oluşturan mekanizmalar hem de akustik yutuculuk üstünde etkili olduğu tespit edilmiştir. Yol yüzeyinde su birikintisi oluşumunu ve suda kızaklanma etkisini azaltmak için tasarlanan gözenekli üst yapı kaplamalarının aynı zamanda ses yutucu özelliği olduğu belirlenmiştir.

Tekerlek yüzey arasında meydana gelen ilişki sonrasında oluşan gürültü diğer asfalt kaplamalar ile kıyaslandığında geçirgen yani poroz asfalt tarafından absorbe edilmektedir.

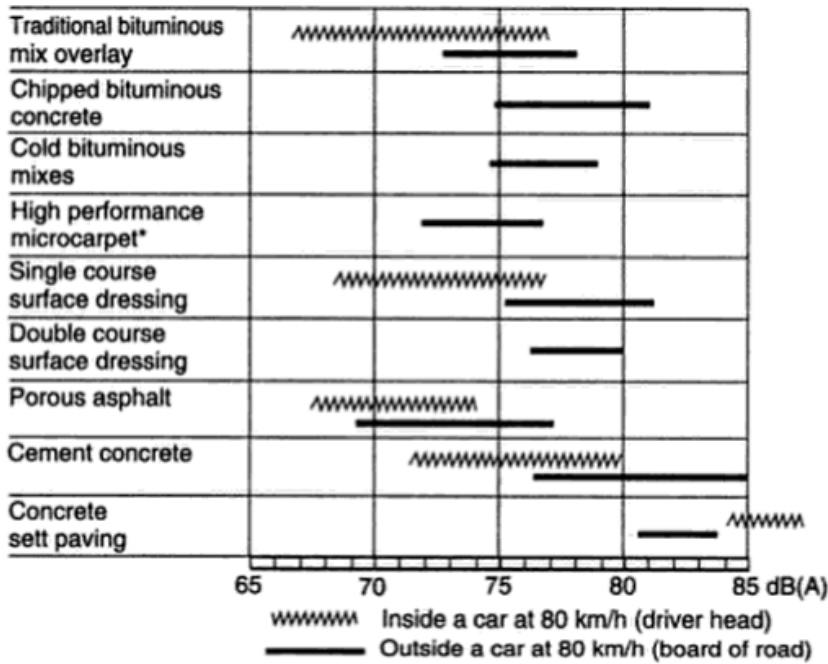
Trafik kaynaklı gürültülerin azaltılması için özel yol yüzey kaplaması kullanılması giderek yaygınlaşan bir uygulamadır.

Yol yüzeyi ile tekerlek arasındaki sürtünme nedeniyle oluşan gürültüyü azaltmak amacıyla; reçine esaslı katkı maddeleri ve özel gradasyonla poroz asfalt karışımları geliştirilmiştir. Poroz asfalt uygulamasının klasik yüzeylere göre 3 dBA ile 7 dBA arasında bir gürültü azaltımı sağladığı belirtilmiştir (Ergün, 2001).

Şekil 2.11’de poroz asfalt yapısı ve Şekil 2.12’de farklı kaplama türlerinin gürültü etkileri gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Poroz asfalt kesiti (ÇOB, 2008a)



Şekil 2.12. Yol kaplaması tipine göre gürültü seviyeleri (OECD, 1995)

Bozkurt (2013) doktora tez çalışmasında karayolu ulaşımından kaynaklanan çevresel gürültü ve bu gürültüye yol kaplamalarının etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada 3 farklı yolda Düz Asfalt Kaplama, Gözenekli Asfalt Kaplama ve Parke Taşı Kaplamanın çevresel gürültü açısından etkinliği, hız, trafik yükü ve zaman değişkenlerine göre incelenmiştir. Gürültü bakımından en iyi performansın gözenekli asfaltta sağlandığı, seçenekler arasında ± 3 dB fark olduğu görülmüştür.

İmamoğlu (2012) yüksek lisans tez çalışmasında atık lastik katkıli asfalt kaplama kullanılmasının, gürültü bariyeri boyutunu ve dolayısıyla optimum maliyeti oldukça düşüreceğini ortaya koymuştur.

2.5.2. Binalarda gürültü izolasyonu yapılması

Gürültünün kaynağında veya bir engelle azaltılmasının mümkün veya yeterli olmadığı durumlarda binalarda cephe ve pencere yalıtımı yapılması bir diğer çözümdür. Yalıtım işleminde aynı zamanda ısı yalıtım özelliği de olan malzemelerin kullanılması çifte fayda sağlamaktadır. En çok kullanılan malzemeler Gazbeton, Bimsbeton, Taşyünü, Camyünü, EPS, XPS, (Arslan ve Aktaş, 2018; Aksoylu, 2014).

2.5.3. Doğal gürültü bariyerleri

Gelişmiş ülkelerde birçok uygulamaları bulunan gürültü bariyerlerinin özellikle anayolların kenarlarına yapılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Bir bölgede gürültü bariyeri kurulurken, gürültü azaltımı sağlanması yanında, bariyerin o bölgenin çevre düzenlemesine ve dokusuna uygun olması, mümkünse bölgeye estetik açıdan katkı sağlamasına da dikkat edilmelidir. Bu sebeple bölge iklim ve peyzaj yapısına uygun seçilen, gürültü azaltıcı etkiye sahip bitkilerin bariyer olarak kullanılması oldukça yaygın bir uygulamadır.

Özellikle şehirlerarası yolların meskûn mahal yani yerleşim yerlerine yakın geçtiği yerlerde bitkilerle gürültü perdeleri tesisi günümüzde önem kazanmaktadır. Yol kenarında oluşturulan setler üzerine yer alan gürültü perdeleri gürültüyü azaltmada daha etkindir.

Gürültü perdeleri olarak doğal bitki örtüsünden de yararlanıldığında, bunlar daha geniş yer kaplamasına rağmen bakım ve giderleri azdır. Kısmen doğal kısmen de dikimlerle oluşturulan gürültü perdelerinde ise, daha az yer kaplamalarına karşın tesis ve bakım giderleri daha yüksek olmaktadır.

Bitkisel bariyerlerin gürültü azaltma etkisi nispeten az olsa da, bariyer sıra sayısının artırılması ve yapay bariyerlerle birlikte kullanılması sayesinde faydası artırılabilir. Doğal bariyerler özellikle ekonomik olması, göze hitap etmesi, doğaya zararsız olması ve hava

kirleticilerin arıtılmasını sağlaması sebepleriyle tercih edilmektedirler. Doğal bariyerlerin etkileri Çizelge 2.7’de ve örnek bir uygulama Şekil 2.13’de gösterilmiştir (OECD, 1995).

Çizelge 2.7. Bitkisel bariyerlerin etkileri (OECD, 1995)

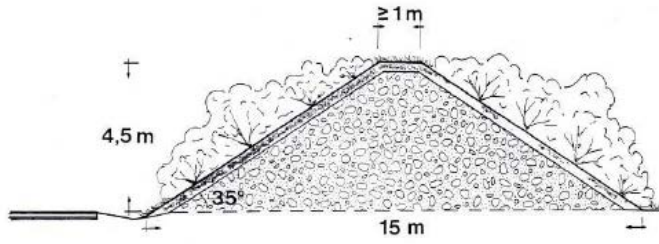
Tür	Boyutlar, m	Akustik fonksiyonu	Gürültü azaltımı, dBA	(+): Avantaj (-): Dezavantajı
Ağaç ve çalılıklar	L: En az 10 H: 8-9	Absorbif	3-4	(+): Göze hoş gözükmekte ve egzost gazlarını da absorbe edebilmektedir. (-): Sınırlı düzeyde akustik iyileştirme sağlamaktadır
Toprak set üzerine çalılık	L: 15-18 H: 3-4	Absorbif ve yansıtıcı	15-16	(+): Göze hoş gözükmekte ve akustik azaltım açısından etkin (-): Geniş alanlara ihtiyaç vardır
L: Uzunluk, m H: Yükseklik, m				



Şekil 2.13. Doğal bitki bariyerlerine bir örnek (Çelik, 2009)

Aşağıdaki Şekil 2.14’de görüldüğü gibi doğal bariyerlerin toprakla yapılması durumunda dolgu genişliği oldukça büyük değerlere ulaşmaktadır.

Bu sebeple toprak dolgulu gürültü bariyeri sadece kırsal bölgelerde ve elde büyük miktarda hafriyat bulunması durumunda tercih edilen bir yöntemdir.



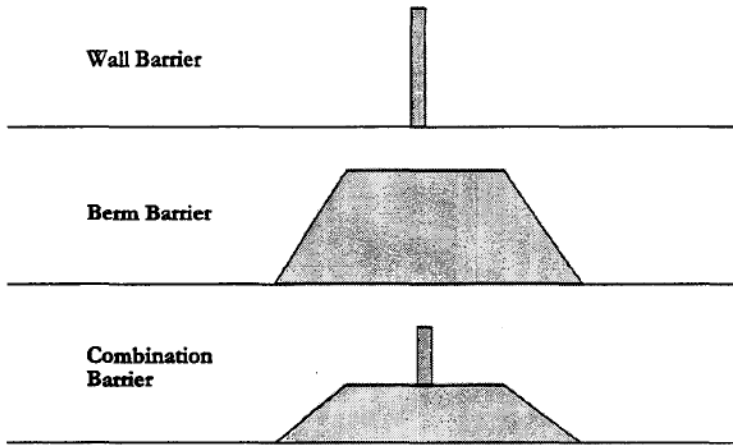
Şekil 2.14. Doğal toprak dolgu duvar çekirdekli bitki bariyeri (CEDR, 2017)

Dolgu genişliğini azaltmanın en pratik yöntemi destekli toprak dolgu (toprakarme) yapılmasıdır. Aşağıdaki Şekil 2.15’de bu durumda daha dik ve dar toprak dolgu yapılabildiği görülmektedir.



Şekil 2.15. Destekli toprak dolgu duvar çekirdekli bitki bariyeri (CEDR, 2017)

Toprak dolgu miktarını azaltmanın bir diğer yöntemi ise altta alçak bir toprak dolgu yapılması ve üzerine bir gürültü perdesi inşasıdır. Şekil 2.16 bu konudaki farklı uygulamaları göstermektedir.



Şekil 2.16. Gürültü duvarı, toprak dolgu bariyer ve birlikte kullanımları (FHWA, 2000)

Görüntü kirliliğine sebep olmaması nedeniyle oldukça çok tercih edilen doğal bariyerleri yapmanın bir diğer yöntemi ise plastik iskelet üzerinde bitkilerin büyütülmesidir. Kamulaştırma alanının yeterli genişlikte olmadığı ve bitkisel perdelemenin yeterli olgunluğa ulaşmadığı yerlerde, yapay akustik perdeler üstüne sarılıcı bitkiler sık dikilmelidir.

Aşağıdaki Şekil 2.17 plastik iskelet ve bitki bariyerini göstermektedir.



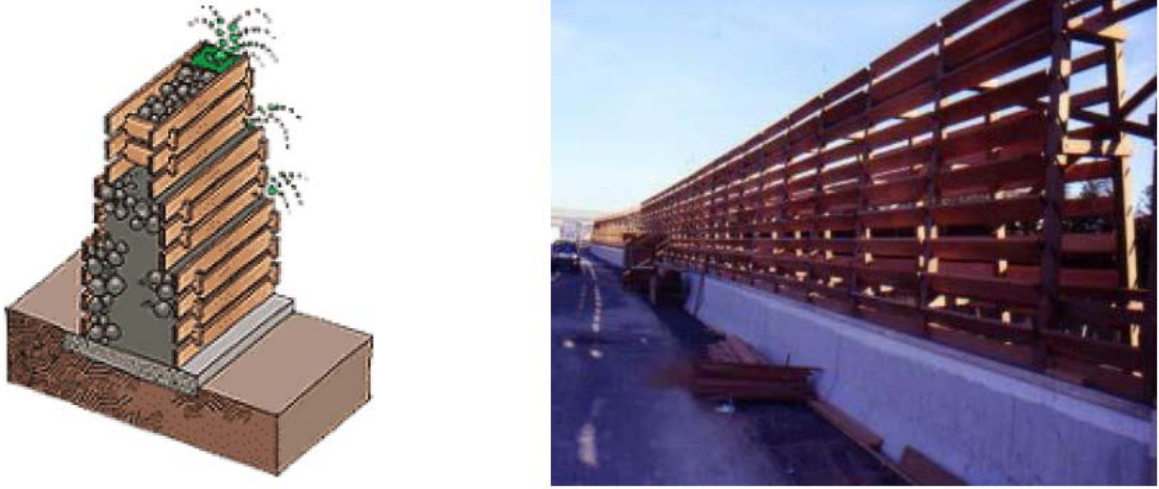
Şekil 2.17. Plastik iskeletli bitki bariyeri (CEDR, 2017)

Bitki bariyerinin iç kısmının beton duvar şeklinde yapılması ve üzerinin bitkiyle kaplanması ise bir diğer yöntemdir. Şekil 2.18 bu konuda bir örnek göstermektedir.



Şekil 2.18. Beton iskeletli bitki bariyeri (CEDR, 2017)

Doğal bariyerin bir inşaa yöntemi ise ahşap iskelet üzerinde bitki büyütülmesidir. Ancak bu ahşapların açık hava şartlarındaki kısa ömrü ciddi bir sorun oluşturmaktadır. Bu yöneme ait görseller Şekil 2.19’da verilmiştir.



Şekil 2.19. Ahşap iskeletli bitki bariyeri (CEDR, 2017)

Hangi yöntemle olursa olsun bitkiler kullanılarak yapılan doğal yeşil duvar bariyerler estetik bakımdan yapay duvarlara göre çok büyük avantajlara sahiptir. Şekil 2.20 güzel bir yeşil duvar örneği göstermektedir.



Şekil 2.20. Yeşil Duvar uygulaması (Ataoğlu, 2014)

2.5.4. Yapay gürültü bariyerleri

Yapay gürültü bariyerlerinde kullanılan materyaller genelde ahşap, beton ve metaldir. Aynı zamanda yapay bariyerler bitkilendirilerek gürültü azaltım kabiliyetinin artırılması ve araç trafiğinden kaynaklanan hava kirletici her türlü parçacığın emilmesi sağlanabilir. Gürültü kaynağı ile korunması talep edilen bölge arasındaki alan çok kısa ise gürültü bariyerleri bir bitki örtüsüyle örtülerek etkin bir gürültü önlemi sağlanabilir. Akustik perdeler herhangi bir materyalle yapıp önlerine tesis edilen sık bitkisel dikimlerle daha kısa sürede yeşil bir perde ile donanmış olarak daha etkili hale getirilebilir.

OECD kriterlerine göre; bir yapay gürültü bariyerinin birim ağırlığı en az 20 kg/m² olmalı, her bir metre bariyer yüksekliği gürültü düzeyinde 1,5 dBA azalma sağlamalı ve gürültü bariyerinin boyu en az bariyer ile alıcı arasındaki mesafenin 4 katı kadar olmalıdır (OECD, 1995).

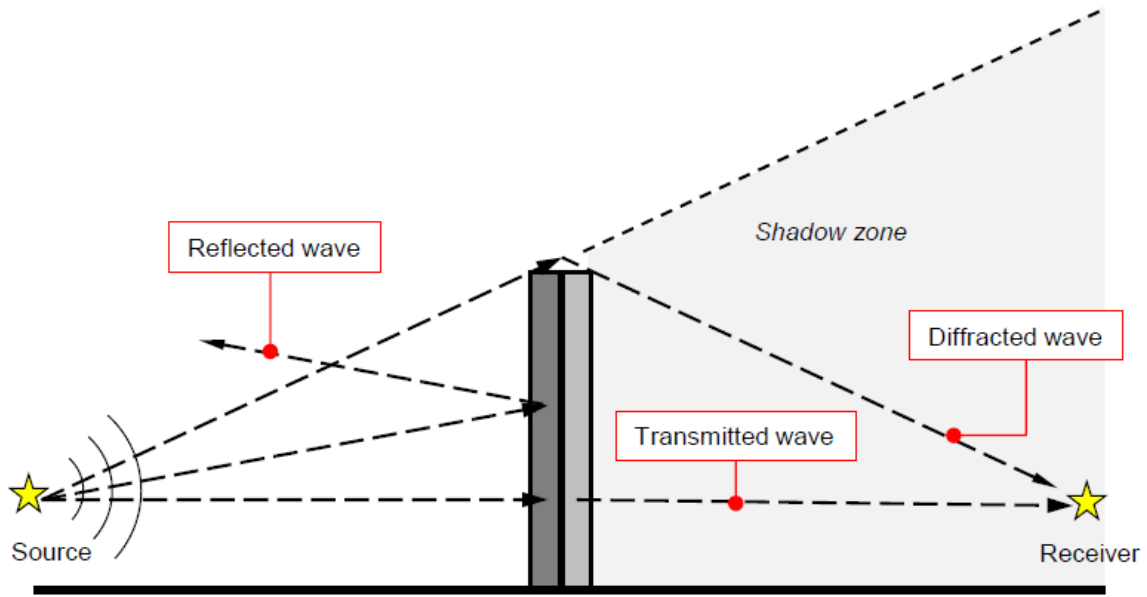
Paşaoğlu (2013) yüksek lisans tez çalışmasında otoyol kenarındaki İstanbul Eyüp Göktürk Mahallesi Bölgesi için gürültü haritaları hazırlamıştır. Ardından SoundPlan yazılımını kullanarak; gürültü bariyeri yapılırsa konut alanlarındaki gürültü düzeylerinin, rahatsızlık seviyesi ve mevzuatta belirtilmiş olan sınır değerlerin altına ineceğini

öngörmüştür. Çizelge 2.8 kullanılan malzeme cinsine göre yapay duvarların etkilerini özetlemektedir.

Çizelge 2.8. Yapay bariyerlerin etkileri (OECD, 1995)

Tür	Boyutlar, m	Akustik fonksiyonu	Gürültü azaltımı, dBA	(+): Avantaj (-): Dezavantajı
Boşluklu briket	L:0,5 H:2,5	Yansıtıcı, absorplayıcı	15-16	(+): İyi akustik verim özelliği ve yangına dayanıklılık (-): Estetik açıdan uygunsuz
Güçlendirilmiş beton panel	L:0,35 H:3-4	Yansıtıcı, absorplayıcı	17-19	(+): İyi akustik verim özelliği ve yangına dayanıklılık (-): Yüksek maliyetli ve bol alan ihtiyacı var
Ahşap panel	L:0,30 H:2-3	Absorplayıcı	18-19	(+): İyi akustik verim özelliği (-): Yüksek maliyetli ve bol alan ihtiyacı var
Alüminyum veya çelik panel	L:0,3 H:4-5	Yansıtıcı, absorplayıcı	20-22	(+): İyi akustik verim özelliği ve yangına dayanıklılık (-): Yüksek maliyetli
Polikarbonlu malzeme	L:0,5 H:3-4	Yansıtıcı	16-17	(+): İyi akustik verim özelliği ve yangına dayanıklılık (-): Yüksek maliyetli

Şekil 2.21 yapay gürültü duvarların çalışma prensibini göstermektedir. Yansıma dalgası araca geri dönüp araç içindekileri rahatsız etmektedir. Ayrıca yolun karşı tarafı da bu yansıma dalgasından zarar görmektedir. Kırılma dalgası duvar üzerinden aşır kırılarak alıcı tarafa ulaşmaktadır. Bu yüzden ilave önlemler alınması gerekebilir. Emilen dalga ise duvar içinden geçerek alıcı tarafına ulaşmaktadır. Bu sebeple duvarın malzemesi oldukça önemli hale gelmektedir.



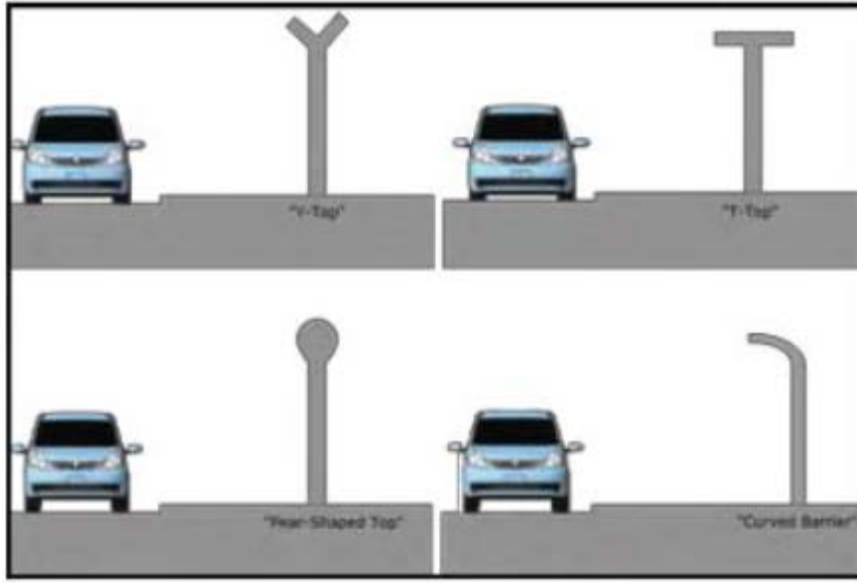
Şekil 2.21. Yapay gürültü perdelerinin çalışma prensibi (CEDR, 2017)

Kaynak ile alıcı arasına bir bariyer konulduğunda kaynaktan gelen direkt gürültüde önemli ölçüde azalma meydana gelmektedir. Bu azalma iki şekilde gerçekleşmektedir. Birincisi bariyer üzerine gelen ses enerjisi yansıtılabilir. İkincisi de bu enerji bir ölçüde soğurulabilir. İkinci durumda dahi az bir ses enerjisi bariyerin arkasına iletilmektedir. Ahşap ve beton gibi malzemelerden yapılan bariyerler genellikle yansıtıcı özelliktedir. Gürültü yüzü ses emici özellikteki boşluklu (poroz) malzemeler, örneğin mineral lif veya köpük kaplamalar ile kaplanır. Bu tür malzemeler sesin büyük bölümünü emer ve kalan küçük bir bölümünü yansıtır (Kotzen ve English, 2009).

Duvar üzerinden aşan kırılma dalgalarını önlemek için duvar üzerine Şekil 2.22’de görülene benzer parçalar yerleştirilmesi uygun olacaktır.

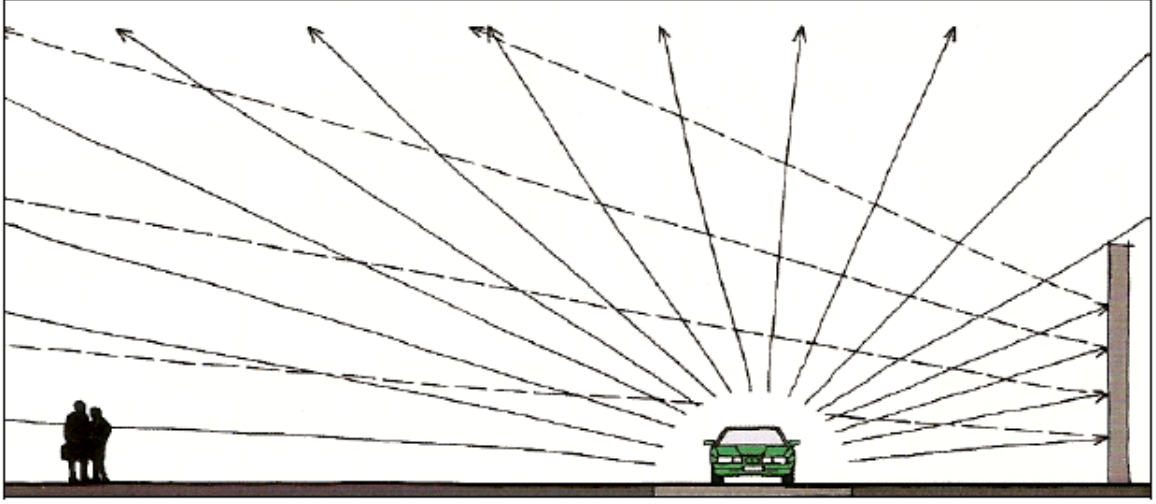
Gürültü bariyerlerinin geometrik şeklinde değişiklik yapmak imalatın yüksekliğini değiştirmeden performansını artırmak için en önemli yollardan biridir. T şekilli ve 2 ya da daha fazla kenarlı bariyerlerin gürültü azaltmadaki performansları yüksektir. Emici ve yumuşak kenarlar bariyer etkisini arttırmakta olup, yumuşak T şekilli duvar yüksek performans sergilemektedir. 3 m lik T şekilli bariyer 10 m lik düz bir bariyerle aynı performansı gösterebilmektedir.

Bariyerlerinin yüksekliğini artırmadan performansını artırmak için ikinci yol bariyerin yüzeyine yumuşak ve emici bir madde ekleyerek ses basıncını duvarın kenarında toplamaktır. Duvar üzerine yapısal olarak eklenen emici madde duvarın performansını arttırarak duvarın arkasındaki yayılma alanını daraltmaktadır. Akustik olarak yumuşak bir yüzeye ve akustik boşluklara sahip olan bir nesne ses basıncını daha fazla azaltabilmektedir (Ishizuka ve Fujiwara, 2004).



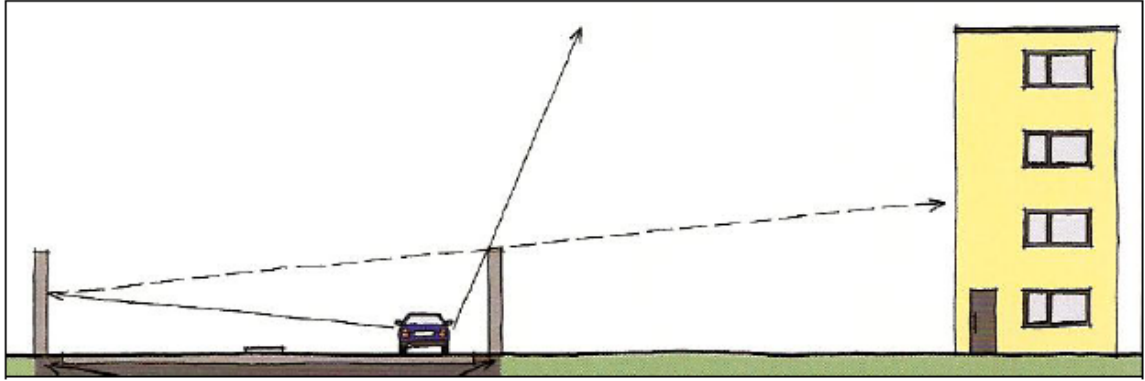
Şekil 2.22. Gürültü perdesi üzerine eklenen aparat örnekleri (CEDR, 2017)

Şekil 2.23'de tek tarafta gürültü bariyeri bulunması halinde sesin yayılımı gösterilmiştir.



Şekil 2.23. Gürültü perdesinde sesin yayılımı (ÇOB, 2008a)

Yolun her iki tarafında gürültü bariyeri bulunması durumunda sesin yayılımı ise Şekil 2.24'de gösterilmiştir.



Şekil 2.24. Çift taraflı perdenin yansıtma etkisi (ÇOB, 2008a)

Yapay gürültü perdeleri için her zaman en büyük sorun görüntü kirliliği olmuştur. Bunu çözenin en pratik yöntemlerinden biri Şekil 2.25'deki gibi şeffaf gürültü perdesi kullanılmasıdır. Bir diğer zararlı etki ise özellikle yüksek duvarların güneş ışığını kesmesidir (Arenas, 2008).



Şekil 2.25. Şeffaf gürültü perdesine bir örnek (Anonim, 2018a)

Güzel görüntü oluşturan bir diğer uygulama ise boyalı veya inox Çelik gürültü perdesi kullanılmasıdır. Bu konudaki iki örnek Şekil 2.26 ve Şekil 2.27’de gösterilmiştir.



Şekil 2.26. Çelik gürültü perdesi (CEDR, 2017)



Şekil 2.27. İnoks çelik gürültü perdesi (CEDR, 2017)

Gürültü perdesinin elektrik enerjisi üretimi için güneş panelleri ile kaplanması da bir diğer çözümdür. Bu sayede hem daha güzel bir cam görüntüsü elde edilmekte, hem de ekonomik fayda sağlanmaktadır. Ancak eğik tasarım gerektiğinden bu uygulamanın her yerde uygulanmasının mümkün olmadığı dikkate alınmalıdır. Şekil 2.28 bu konudaki iki örneği göstermektedir.



Şekil 2.28. Güneş enerjisi paneli kaplı gürültü perdesi (CEDR, 2017)

Gürültü duvarının yola çok uzak yapılması hem arazi kaybına yol açmakta, hem de gerekli duvar yüksekliğini arttırmaktadır. Yola çok yakın yapılması ise araç sürücülerinin çarpması ve araçlarının hasar görmelerine, sürücü ve yolcuların yaralanmasına ve hatta

ölümüne yol açmaktadır. Bu sebeple Şekil 2.29 deki gibi gürültü duvarı ile Çelik bariyerin beraber yapılması yaygın bir uygulamadır.



Şekil 2.29. Çelik güvenlik bariyeri ve gürültü perdesi (CEDR, 2017)

Görüntü kirliliği bakımından en kötü şöhrete sahip olan beton gürültü duvarları Şekil 2.30'daki gibi canlı renklerde boyanarak kullanılabilir. Ancak burada sürücülerin dikkatini dağıtacak renk ve desenlerden kaçınılması gerektiğine dikkat edilmelidir.



Şekil 2.30. Beton gürültü perdesi (CEDR, 2017)

Şekil 2.31'de bir örneği görülen Ahşap gürültü perdeleri görüntü estetiği bakımından oldukça avantajlıdır.



Şekil 2.31. Ahşap gürültü perdesi (CEDR, 2017)

Plastik/kompozit gürültü perdeleri fiyat bakımından en avantajlı olan türlerdendir. Şekil 2.32’de bu konuda iki örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.32. Plastik/kompozit gürültü perdeleri (CEDR, 2017)

3. YÖNTEM

3.1. Gürültünün Ölçümü

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Kılavuzu bu konudaki temel uygulamaları açıklamaktadır. Ölçüm noktaları Şekil 3.1’de gösterildiği gibi, yansıtıcı yüzeylerden en az 3,5 m uzakta seçilmelidir. Eğer bu konum için yeterli alan yoksa yüzeye 1 metre uzaklıkta yerleştirme yapılmalıdır. Bu durumda ölçülen değerde bir düzeltme yapılmalıdır, yalnız baskın tonların tespiti hâlinde bu düzeltme yapılmayabilir. Mikrofonun zeminden yüksekliği 1,2-1,5 m olmalıdır.

Ölçüm noktaları belirlenirken yakındaki bina veya topoğrafik yapının akustik etki oluşturmamasına dikkat edilmelidir. Mikrofonun yerleştirileceği yerin önünde veya yakınında engel teşkil edebilecek duvar, çit vb yapıların olması durumunda mikrofon, o engel üzerinden itibaren maksimum 2,50 m yükseklikte olacak şekilde yerleştirilebilir (ÇYGM, 2011).



Şekil 3.1. Dış mekânda mikrofon konumu (ÇYGM, 2011).

3.2. Gürültü Haritası Çıkarılması

Gürültü haritası; Yürürlükte bulunan sınır değerlerin aşılp aşılmadığını göstermek amacıyla, belirli bir bölgede etkilenen kişi ve maruz kalan konut sayısı da dâhil olmak üzere, gürültü verilerinin; gürültü göstergesi kullanılarak söz konusu alanın fiziksel haritası üzerinde standartlara uygun olarak belirtilmesidir (ÇGDYY, 2010).

Özellikle yerleşim yeri merkezlerinde trafikten kaynaklanan gürültünün, insan yaşantısına verdiği olumsuz etkiler sonucu gürültü seviyelerinin azaltılması ve kontrol altına alınabilmesi çalışmaları büyük önem kazanmıştır. Çalışmaların başında gürültü haritasının oluşturulması gelmektedir. Gürültü haritası, şehrin ölçüm yapıldığı zamandaki gürültü durumunu ve gürültü seviyesinin maksimum olduğu yerleri gösterir. Gürültü haritaları, şehir gelişimini belirlemede, trafik ve yol kısacası şehir planlamasında ve ölçülen gürültü seviyelerinin azaltılmasına yönelik çalışmalara yön vermesi amacıyla büyük önem taşımaktadır. Yöntem ve hedef belirlemede kullanılır.

Gürültü Haritası sayesinde insanların maruz kaldığı yıllık ortalama gürültü miktarları harita üzerine renkler yardımıyla işlenerek görsel hale getirilmektedir. Böylece yetkililerin sınır değerlerin aşıldığı bölgeleri araştırıp, nedenlerini sorgulaması ve gerekli önlemleri alması, sessiz olan bölgelerin korunması ve artırılması amacıyla eylem planları hazırlaması mümkün olmaktadır.

Gürültü haritaları sayesinde önceki veya öngörülen gürültü durumu, sınır değerler belirlenir. Ölçülen gürültü değerlerine maruz kalınan belirli bir alandaki konut, okul ve hastanelerin tahmini sayısı ve o bölgedeki tahmini insan sayısı gibi bilgiler verilir. Bu bilgiler, coğrafi paftalar, çizelgeler, elektronik formatta rakamsal veriler ile kamuoyuna sunulur. Ayrıca bölgede oturan veya çalışan vatandaşların bu haritaları görmesi, kendilerince önlemler almalarını ve yetkililere baskı oluşturmalarını sağlamaktadır (ÇOB, .2008b).

Aşçıgil (2009) Zincirlikuyu - Maslak ulaşım aksınının karayolu gürültü haritasını hazırlamış ve İstanbul'un en yoğun karayolu ulaşım güzergâhını barındıran 4,2 kilometrekarelik bölgede onlarca okul, yüzlerce konut ve ofis, binlerce konut sakini ve onbinlerce ofis çalışanının mevzuatta verilen gündüz, akşam ve gece gürültü sınır

değerlerinin üzerinde gürültüye maruz kaldıklarını belirlemiştir. Bölgede bulunan okul binalarının %65'i, hastanelerin %100'ü, konut binaların %40'ı ve konut sakinlerinin %45'inin sınır değerlerin üzerinde gürültüye maruz kalmaktadır.

Erdoğan vd (2015) Afyonkarahisar il merkezi için karayolu trafik gürültü haritasını çıkartmışlar ve Afyonkarahisar il merkezinde ölçüm sonuçlarının %58,5 i 80 dbA in, %6,85 i ise 90 dBA in üstünde bulunmuştur.

Bıçakcı ve Selek (2012) Trafikten Kaynaklanan Çevresel Gürültü Haritaları ve Çukurova Üniversitesi Kampüsü Örneği isimli çalışmayı yapmışlardır. Kampüs içerisinde bazı yerlerde 75 dB ulaşan gürültü değerleri ölçmüşlerdir.

Çalış (2007) Karayolu Gürültüsü Ve Gürültü Perdelerinin Ekonomik Analizi isimli yüksek lisans tezi çalışmasında arsa fiyatları ile gürültü arasında ters ilişki tespit etmiştir.

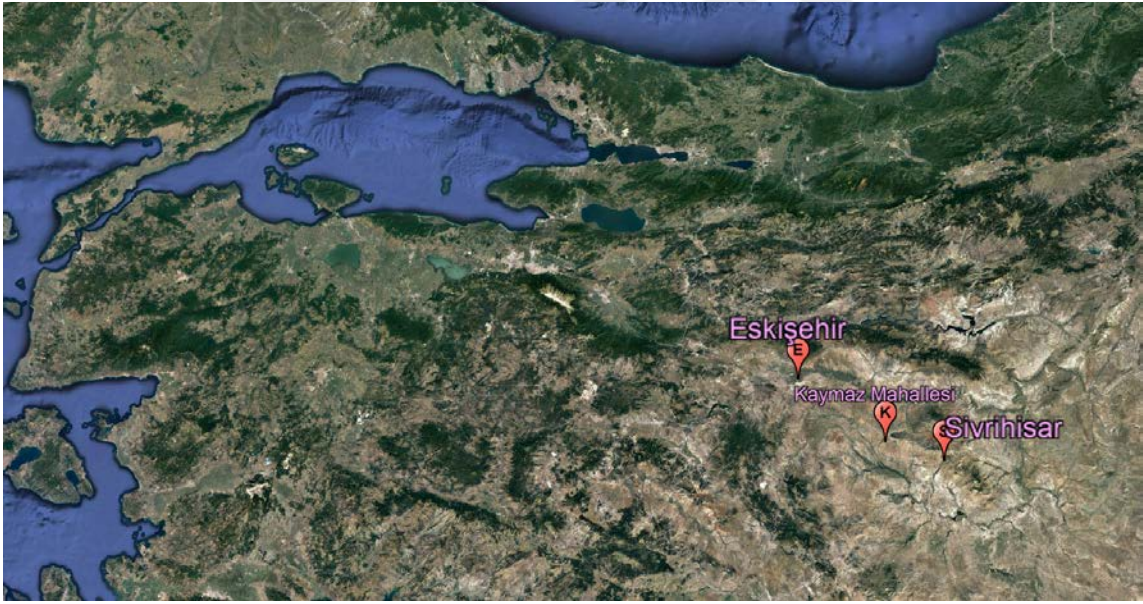
Çelik (2009) yüksek lisans tez çalışmasında Bayrampaşa TEM Otoyolunun Sağmalcılar Mevkii gürültü haritasını hazırlamış ve çevre gürültüsünü değerlendirmiştir. 11 noktada yapılan ölçümlerin tümünde Avrupa Birliği Alan Değerlendirme haritasındaki 55 dBA dan fazla gürültü ölçülmüştür.

Çolakkadıoğlu ve Yücel (2017) Tarsus-Adana-Gaziantep otoyolunun Adana kent merkezine yakın bölgelerinde 1km genişliğindeki koridorunda gürültü haritalarını çıkartmış ve bu bölgedeki halkın kabul edilebilir seviyenin çok üzerinde gürültü seviyelerine maruz kaldığını ortaya koymuşlardır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şehirdışı karayollarından kaynaklanan gürültünün yol açtığı sorunun büyüklüğünü görebilmek amacıyla Eskişehir Sivrihisar ilçesine bağlı Kaymaz mahallesinde gürültü ölçümü yapılmıştır.

Kaymaz mahallesi bugün Sivrihisar ilçesine bağlı bir mahalle konumundadır. 1963 yılında kurulan Belde Belediyesi sistemi 2014 yerel seçimlerine kadar devam etmiştir. 2014 yerel seçimlerinden sonra ise yönetim sistemi mahalle statüsüne dönüştürülmüştür. Kaymaz mahallesi, Sivrihisar ilçe merkezine 35 km, Eskişehir il merkezine 65 km mesafede, Eskişehir ile Ankara'yı birbirine bağlayan D200 devlet yolu üzerinde bulunmaktadır. Şekil 4.1'de Kaymaz Mahallesinin yeri gösterilmiştir (Anonim, 2018b).



Şekil 4.1. Kaymaz Mahallesinin yeri

Şehirdışı karayollarının gürültü etkisinin belirlenmesi için Kaymaz Mahallesinin seçilmiş olmasının sebebi; Eskişehir'e oldukça yakın olması ve Eskişehir-Ankara D200 karayolunun mahalleyi ikiye bölerek ve konutlara çok yakından geçmesidir. Kaymaz mahallesi ve D200 karayolu yerleşimi Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. D200 karayolu ve Kaymaz Mahallesi'nin yerleşimi

Kaymaz Mahallesi'nin 2017 yılı nüfusu 1075 kişidir (TÜİK, 2018). 1970 yılında 2300 kişi olan nüfus değeri, ülke genelindeki birçok yerde olduğu gibi kırsaldan kente göç nedeniyle sürekli azalmaya devam etmektedir (Anonim, 2018b).

D200 karayolunun söz konusu kesimi, Karayolları Genel Müdürlüğü bünyesinde 4.Bölge sorumluluk alanı içerisinde bulunmakta ve Eskişehir ile Sivrihisar arasında yer almaktadır. D200 karayolu ülkemizin en önemli karayollarından biri olup, 14.Bölge sorumluluk alanı içerisindeki Çanakkale'den başlayarak, Bandırma, Bursa, Bozüyük, Eskişehir, Sivrihisar, Polatlı üzerinden 4.Bölge sorumluluk alanı içerisindeki Ankara'ya ulaşmaktadır. Şekil 4.3'de D200 karayolunun 4.bölge içerisindeki konumu gösterilmiştir.



Şekil 4.3. D200 karayolunun konumu (KGM, 2018a)

D200 karayolunun Kaymaz Mahallesi'ni de kapsayan 200-09 kesimindeki Yıllık Ortalama Günlük Trafik değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. D200 karayolunun Kaymaz Mahallesi yakınlarındaki trafik hacim değerleri, Yıllık Ortalama Günlük Trafik, YOGT (KGM, 2018b)

Araç Türü	2010	2017
Otomobil	3939	7588
Orta Yüklü Ticari Taşıt	294	542
Otobüs	372	455
Kamyon	908	763
Kamyon+Römork, Çekici+Yarı Römork	817	1730
Toplam	6330	11078

Görüldüğü gibi bu yolda büyük bir trafik hacmi bulunmaktadır. 2010 yılından itibaren görülen %75 lik artış değeri de çok ciddi bir artışı göstermektedir. Yıllık 4 milyon üzerine çıkan trafik hacim değeri, gürültü sorunu için belirtilen sınır değerin de üstünde kalmaktadır.

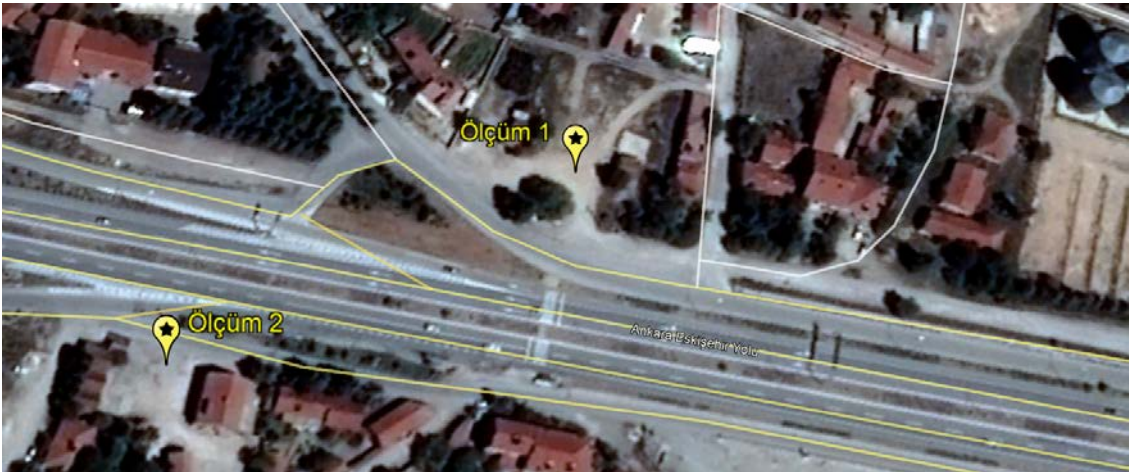
Bu yolun Kaymaz Mahallesi geçiş bölgesi 2x2 bölünmüş yol özelliğine sahiptir. Ayrıca her iki yanda ikişer şerit genişlikte çift yönlü yan yollar bulunmaktadır. Yol kenarındaki konutların D200 karayoluna mesafesi ise bazı yerlerde 20 metreye kadar

düşmektedir. Aşağıdaki Şekil 4.4 D200 karayolunun Kaymaz Mahallesi içinden geçişini göstermektedir.



Şekil 4.4. D200 karayolu ve Kaymaz Mahallesi'ndeki yola yakın konutlar

Ölçüm yapılan noktalar Kaymaz Mahallesi'nde yolun her iki yanında evlerle aynı hizada ve en yakın yansıtıcı duvardan en az 3,50 metre uzakta seçilmiştir. Yerden 1,20-1,50 metre yüksekliğe kurulan bir tripod üzerinde ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ölçüm noktalarının yerleri Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Kaymaz Mahallesi'nde D200 karayolu yakınındaki ölçüm noktaları

Kaymaz Mahallesi oldukça düşük nüfuslu ve sakin bir yerleşim birimi olduğundan D200 karayolu dışında önemli bir gürültü kaynağı bulunmamaktadır. Bu sebeple gürültü haritası çıkarılmasına gerek görülmemiş, sadece yol kenarında, konutlarla aynı hizada ölçüm yapılmasının yeterli olacağı değerlendirilmiştir. Sadece yönetmelikte belirtilen gündüz ve akşam saatlerinde birer saat süreyle ölçüm yapılmış ve L_{max} değerleri alınmıştır. Gece saatlerinde ölçüm yapılamamıştır. Ölçüm sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kaymaz Mahallesi L_{max} gürültü ölçüm sonuçları

Ölçüm No	Yeri	Ölçüm Tarihi	Gündüz ölçümünde gözlenen en yüksek değer (dB)	Akşam ölçümünde gözlenen en yüksek değer (dB)
1	Ankara-Eskişehir yolu kenarı	14 Mayıs 2018 Pazartesi	89	86
2	Eskişehir - Ankara yolu kenarı	15 Mayıs 2018 Salı	89	88

Bu değerlerin anlık zarar verme sınırı olan 120 dB sınırı altında olduğu görülmektedir.

Aynı çalışmada ölçüm yapılan birer saatlik dilim içinde 5er dakikalık alt dilimler kullanılarak L_{eq} ortalama gürültü değerleri de ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kaymaz Mahallesi L_{eq} gürültü ölçüm sonuçları

Ölçüm No	Yeri	Ölçüm Tarihi	Gündüz ölçümünde gözlenen ortalama değer (dB)	Akşam ölçümünde gözlenen ortalama değer (dB)
1	Ankara-Eskişehir yolu kenarı	14 Mayıs 2018 Pazartesi	69	65
2	Eskişehir - Ankara yolu kenarı	15 Mayıs 2018 Salı	69	68

Ölçüm sonuçları yönetmelikte izin verilenin çok üzerinde gürültüye maruz kaldığını göstermektedir. Bu sebeple daha önce bahsedilen gürültü önleme yöntemlerinin bir veya birkaçı kullanılarak önlemler alınmasının gerekli olduğu değerlendirilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gürültünün insan sağlığı üzerinde çok çeşitli ve ciddi zararları bulunduğu birçok çalışmayla kanıtlanmıştır. Gelişen teknolojiyle beraber gürültü kaynakları, çeşitleri ve miktarında ciddi artış yaşanmaktadır. Gürültüyü azaltmak için ise iki temel yaklaşım ortaya çıkmaktadır: birincisi, gürültüyü kaynağında azaltmak, ikincisi ise araya bir engel koyarak gürültünün insanlara ulaşmasını önlemeye çalışmaktır.

Bu tez çalışması kapsamında şehirdışı karayollarındaki yüksek hızlı araçlardan kaynaklanan trafik gürültüsünün sebepleri, zararları ve azaltma yöntemleri incelenmiş ve Eskişehir-Ankara D200 karayolu üzerinde yer alan Kaymaz Mahallesi için bir gürültü ölçüm uygulaması yapılmıştır. Bu uygulamanın özel cihazlarla ve gürültü haritası çıkartılacak şekilde daha kapsamlı olarak yapılması ve gerekli gürültü azaltma yönteminin belirlenmesi gerektiği açıktır.

Ancak yapılmış olan yaklaşık ölçüm değerleri dahi durumun ciddiyetine ortaya koymaktadır. En çok 68 dB olması gereken gündüz eşdeğer gürültü değeri 69 dB değerine kadar ulaşmaktadır. Akşam saatleri için izin verilen gürültü seviyesi 63 dB iken, ölçülen 68 dB olmuştur. Gündüz bazı anlarda maksimum 89 dB değerine, akşam ise 88 dB değerine kadar ulaşılmıştır.

Ölçüm sonuçları yönetmelikte izin verilenin çok üzerinde gürültüye maruz kaldığını göstermektedir. Bu sebeple daha önce bahsedilen gürültü önleme yöntemlerinin bir veya birkaçı kullanılarak önlemler alınması gereklidir. Ancak özellikle gürültü duvarı yöntemi görsel olarak halkımızın alışık olmadığı bir sistem olduğundan, halktan tepki çekmesi olasıdır. Bu sebeple yöntem seçiminde yol kenarında konutu bulunan halkın da görüşünün ve hatta onayının alınması doğru bir yaklaşım olacaktır.

Bu bölgede gürültü azaltımı için bir diğer yöntem ise konutlara yalıtım yapılmasıdır. Özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde birçok devlet yol kenarındaki konut sahiplerine ses yalıtımı için ödeme yapmaktadır. Bu yöntemin de bir seçenek olarak değerlendirilmesi yerinde olacaktır.

Daha önce 2.4 bölümünde birçok modelde gösterildiği gibi karayolu gürültü seviyesini etkileyen en önemli parametrelerden birisi taşıtların hızıdır. Bu bölgede araçların hızlarının azaltılması sağlanabilirse gürültü seviyesi ciddi ölçüde düşecektir. Bunun için yeterli yatay, düşey ve elektronik işaretlemenin yapılması ve bir Elektronik Denetleme Sistemi (EDS) kurulması hem trafik güvenliğini arttıracak, hem de gürültü seviyesini düşürecektir.

Bu bölge için acilen alınması gereken diğer önlemler öneri olarak aşağıdaki Şekil 5.1-3 üzerinde gösterilmiştir. D200 karayolu üzerine 550m boyunca poroz asfalt yapılması ve kuzey yönünde 550m ve güney yönünde 450m gürültü bariyeri yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Gürültü duvarı türünün belirlenmesi için halkın görüşünün alınması ve SoundPLAN gibi bir yazılımla tür ve yüksekliğe göre analiz yapılarak mevzuattaki sınır şartlarının sağlanması uygun olacaktır. Bu önlemlerin maliyeti ve tür seçimi bu çalışmanın konusu olmadığı ve çok fazla etkene bağlı çok ciddi analizler gerektirdiği için bu çalışmada yer verilmemiştir.



Şekil 5.1. Kaymaz Mahallesi geçişinde D200 yolu üzerinde yapılması önerilen Poroz Asfalt (sarı taralı alan) ve Gürültü Duvarı (kırmızı çizgiler) gösterimi



Şekil 5.2. Kaymaz Mahallesi geçişinde D200 yolu kenarı için Yeşil Gürültü Duvarı önerisi



Şekil 5.3. Kaymaz Mahallesi geçişinde D200 yolu kenarı için Şeffaf Gürültü Duvarı önerisi

Gürültünün azaltılması konusunda bir önlem alınmadığı takdirde yola yakın bölgelerde yaşayan kişilerde ciddi sağlık sorunları görülmesi beklenmelidir. Özellikle bebekler ve çocukların gürültüden daha fazla etkilendiği bilimsel olarak ispatlanmıştır. Gürültünün etkisi sadece işitme kaybı veya stres olarak ortaya çıkmaz. Gürültünün kalp hastalıkları dâhil birçok sağlık sorununa yol açtığı bilinmektedir.

Sonuç olarak; gürültü kirliliğinin etkisini minimize edebilmek için iki türlü yöntem kullanılabilir. Yapılaşma planlama yapılmadan oluşmuş ise algılayıcıda alınacak önlemler ilk tedbir olarak ele alınmalıdır. Ses yalıtımı yapılması gibi önlemleri içeren bu tedbir ekonomik açıdan yüksek maliyetli aynı zamanda uygulama açısından külfetli olabileceği gibi, kesin çözüme götürmeyebilir. İkinci sırada tercih edilebilecek önlem, gürültü kaynağının azaltılması yoluna gitmektir. Örneğin karayolu trafik gürültüsünü azaltmak için alternatif yolların üretilmesi, mümkün mertebe yapılaşma etki alanına yeterli uzaklıkta yollar yapılması; yol kaplamasının yansıtıcı özelliğinin azaltılması diğer bir özellik olarak kaplamanın ses yutucu kabiliyetinin artırılması ve motor ses gücünün azaltılması yani araçların gerekli modifikasyonlar yapılarak gürültü performansının düşürülmesine yönelik çalışmalar olabilir.

Diğer taraftan; insanlar için sağlıklı ve konforlu yaşamaya elverişli mahallerin oluşturulabilmesi amacıyla, karayolu trafiği gürültüsü yanı sıra etkili olan ve genelde yerleşim bölgeleri etki alanı içinde bulunan diğer gürültü kaynaklarından havaalanı, liman, tren istasyonları ve büyük çaplı spor kompleksleri gibi tesisleri de içerisinde barındıran alanların gürültü haritalarının hazırlanması, bilhassa yerleşime yeni açılacak bölgelerde planlama kriterlerine göre simülasyon gürültü haritalarının hazırlanması kaçınılmaz bir gereklilik olacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aksoylu, C., 2014, Yapılardaki Ses İzolasyonunun Bilgisayar Ortamında Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 107 s. (yayımlanmamış).
- Anonim, 2018a, BSK İnşaat İnternet sayfası, <https://www.bskinsaat.com/tamamlanan-projeler>, erişim tarihi: 16.05.2018.
- Anonim, 2018b, Yerel Yönetimler Portalı, https://www.yerelnet.org.tr/belediyeler/belediye.php?belediyeid=128777_erişim tarihi: 16.05.2018.
- Arenas, J.P., 2008, Potential problems with environmental sound barriers when used in mitigating surface transportation noise, *Science of the Total Environment*, 405, 173-179.
- Arslan, M. A., Aktaş, M., 2018, “İnşaat sektöründe kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı ve ses yalıtımı açısından değerlendirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 21(2), 299-320.
- Aşçıgil, M., 2009, Karayolu Gürültü Haritalarının Hazırlanması: İstanbul Zincirlikuyu-Maslak Ulaşım Hattı Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 293 s. (yayımlanmamış).
- Ataoğlu, E., 2014, Gürültü Perdelerinde Peyzaj Tasarımı Kentsel Sistemler Ve Ulaştırma Yönetimi Yüksek Lisans Programı Uzmanlık Projesi, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 93 s. (yayımlanmamış).
- Bay, F., Güney, A., 1998, Lastik – Yol Gürültüsü, IV. Ulusal Akustik Kongresi, Antalya, Türkiye.
- Berger, E.H., Royster, L.H., Royster, J.D., Driscoll, D.P. ve Layne, M., 2000, *The Noise Manual*, AIHA Press, Fairfax, ABD.
- Berglund, B., Lindvall, T. ve Schwela, D.H., 1999. Guidelines for community noise. World Health Organisation, Geneva, İsviçre. http://www.quietskiescoalition.org/files/WHO_Guidelines_for_Community_Noise.pdf, erişim tarihi: 16.05.2018.
- Bıçakçı, T., Selek, Z., 2012, Trafikten Kaynaklanan Çevresel Gürültü Haritaları Ve Çukurova Üniversitesi Kampüsü Örneği, *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri dergisi*, 28, 2, 115-125
- Bies, D.A. ve Hansen, C.H., 2003, *Engineering Noise Control*, Spon Press, Londra, İngiltere.
- Blanco, J.C., Flindell, I, 2011, Property prices in urban areas affected by road traffic noise, *Applied Acoustics*, 72, 133-141

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bozkurt, Z., 2013, Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Çevresel Gürültü ve Bu Gürültüye Yol Kaplamalarının Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 191 s. (yayımlanmamış).
- Boztepe, M., 2011, Beton Yollardaki Farklı Yüzey Tiplerinin Gürültü Düzeyi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 121 s. (yayımlanmamış).
- Brandt, S., Maennig, W., 2011, Road noise exposure and residential property prices: Evidence from Hamburg, Transportation Research Part D, 16, 23-30.
- CEDR, 2017, Technical Report 2017-02 State of the art in managing road traffic noise: noise barriers, Brüksel, Belçika.
- Çalış, M., 2007, Karayolu Gürültüsü ve Gürültü Perdelerinin Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 105 s. (yayımlanmamış).
- Çelik, B., 2009, Bayrampaşa Tem Otoyolu – Sağmalcılar Mevkii Gürültü Haritasının Hazırlanması ve Çevre Gürültüsünün Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 133 s. (yayımlanmamış).
- Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008a, Gürültü Azaltım Önlemleri El Kitabı, Ankara, Türkiye.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008b, Gürültü Haritalandırması Kılavuzu, Ankara, Türkiye.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, 2011, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi (ÇGDY) Yönetmeliği, Ankara, Türkiye.
- Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2011, Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Kılavuzu, Ankara
- Çolaklıoğlu, D., Yücel, M., 2017, Modeling of Tarsus-Adana-Gaziantep highway-induced noise pollution within the scope of Adana city and estimated the affected population, Applied Acoustics, 115, 158-165
- EEA, 2014, European Environment Agency Noise in Europe 2014, EEA Report No 10/2014, European Environment Agency, Copenhagen, Danimarka. <https://www.eea.europa.eu/publications/noise-in-europe-2014/file>, erişim tarihi: 17.05.2018.
- EEA, 2015, European Environment Agency The European Environment State and Outlook 2015 Synthesis Report, European Environment Agency, Copenhagen, Danimarka. <https://www.eea.europa.eu/publications/noise-in-europe-2014/file>, erişim tarihi: 17.05.2018.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Erdoğan, S., Doğan, M., Yılmaz, İ., Güllü, M., Baybura, T. vd, 2015, Afyonkarahisar İl Merkezi Karayolu Trafik Gürültü Haritasının Hazırlanması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7,2, 151-164, <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/18588>, erişim tarihi: 17.05.2018.
- Ergün, M., 2001, Turistik Bölgelerde Şehir içi Ulaşımından Kaynaklanan Gürültü Sorununa Yeni Bir Çözüm: Geçirimli Yol Kaplamaları, Ulaşım Sempozyumu, İstanbul, Türkiye
- EU, 2002, Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise - Declaration by the Commission in the Conciliation Committee on the Directive relating to the assessment and management of environmental noise. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&from=EN>, erişim tarihi: 17.05.2018.
- Fahy, F. ve Walker, J., 1998, Fundamentals of Noise and Vibration, Spon Press, Norfolk, İngiltere.
- FHWA, 2000, Highway Noise Barrier Design Handbook, Washington, ABD.
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., 1994, Gürültü, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No: 19. T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ishizuka, T., Fujiwara, F., 2004, Performance of noise barriers with various edge shapes and acoustical conditions, Applied Acoustics, 65(2), 125-141
- İmamoğlu, C.T., 2012, Atık Lastik Katkılı Asfalt Kaplamaların Trafik Gürültüsünü Sönümlemedeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 121 s. (yayımlanmamış).
- Kang, J., 2007, Urban Sound Environment, Taylor&Francis, Cornwall, İngiltere.
- KGM, 2018a, Karayolları Genel Müdürlüğü bölgelere göre haritalar, <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionImages/KGMimages/Haritalar/b4.jpg>, erişim tarihi: 16.05.2018.
- KGM, 2018b, Karayolları Genel Müdürlüğü trafik hacim haritaları, <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TrafikHacimHaritasi.aspx>, erişim tarihi: 16.05.2018.
- Kim, K.S., Park, S.J., Kweon, Y., 2007, Highway traffic noise effects on land price in an urban area, Transportation Research Part D, 12, 275-280.
- Kotzen, B. ve English, C., 2009, Environmental Noise Barriers, Spon Press, Oxon, İngiltere.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kurra, S., 2009, Çevre gürültüsü ve yönetimi. İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Lusk, SL, McCullagh, M, Dickson, VV & Xu, J., 2017, Reduce noise: Improve the nation's health, *Nursing Outlook*, 65, 5, 652-656.
- Mitchell, P., 2009, Speed and Road Traffic Noise, UK Noise Association, http://www.ukna.org.uk/uploads/4/1/4/5/41458009/speed_and_road_traffic_noise.pdf, erişim tarihi: 16.05.2018.
- Ongel, A., Sezgin, F., 2016, Assessing the effects of noise abatement measures on health risks: A case study in Istanbul, *Environmental Impact Assessment Review*, 56, 180-187.
- Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD), 1995, Roadside Noise Abatement, Paris/France
- Özbek, C., 2012, Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Karayolu Ulaşımı İçin Uygun Gürültü Perdesi Yerlerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 135 s. (yayımlanmamış).
- Petrovici, A., Tomozei, C., Folres, R.G., Nedeff, F. ve Irimia, O., 2015, Noise prediction, calculation and mapping using specialized software, *Journal of Engineering Studies and Research*, 21(3), 59-64,
- Singal, S.P., 2005, Noise Pollution and Control Strategy, Alpha Science International Ltd., Oxford, İngiltere.
- Sirel, Ş., 1988, <http://www.yfu.com/kitapciklar/gurultu.pdf>, erişim tarihi: 16.05.2018.
- Szczepanska, A., Senetra, A., Wasilewicz-Pszczółkowska, M., 2015, The effect of road traffic noise on the prices of residential property – A case study of the polish city of Olsztyn, *Transportation Research Part D*, 36, 167-177.
- Paşaoğlu, A., 2013, Eyüp Hasdal-Kemerburgaz Yolu Göktürk Mevkiinde Otoyoldan Kaynaklanan Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Gürültü Haritasının Hazırlanması ve Gürültü Perdesi Modeli, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 94 s. (yayımlanmamış).
- TDEPA, 2018, The Danish Environmental Protection Agency Typically noise levels, http://eng.mst.dk/media/mst/69037/typically_noise_levels_1175.1.11.pdf, erişim tarihi: 16.05.2018.
- Thompson, D., 2009, Railway noise and vibration, Elsevier, Amsterdam, Hollanda.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Toklu, S., 2011, Motorlu Araçlardan Kaynaklanan Gürültü Kirliliği: Bir Bölge Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 117 s. (yayımlanmamış).

TÜİK, 2018, Türkiye İstatistik Kurumu Nüfus İstatistikleri, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>, erişim tarihi: 16.05.2018.

Wilson, C.E., 2006, Noise Control, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, ABD.

Yener, H.M., 2017, Ulaşımın Kaynaklı Gürültü Rahatsızlığı: İzmir Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 96 s. (yayımlanmamış).

