

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARAR DESTEK YARDIMCISI OLARAK GÜRÜLTÜ HARİTALAMA
YAZILIMI İLE TRAFİK GÜRÜLTÜSÜ ÜZERİNE FARKLI
SENARYOLARIN İRDELENMESİ, ANTALYA ÖRNEĞİ**

MUSTAFA ECE

**I. Danışman
Doç. Dr. İsmail TOSUN**

**II. Danışman
Prof. Dr. Kamil EKİNCİ**

**DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2015**

© 2014 [Mustafa ECE]

TEZ ONAYI

Mustafa ECE tarafından hazırlanan "**Karar Destek Yardımcısı Olarak Gürültü Haritalama Yazılımı İle Trafik Gürültüsü Üzerine Farklı Senaryoların İrdelenmesi, Antalya Örneği**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **DOKTORA** olarak başarı ile savunulmuştur.

I. Danışman	Doç. Dr. İsmail TOSUN Süleyman Demirel Üniversitesi
II. Danışman	Prof. Dr. Kamil EKİNCİ Süleyman Demirel Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Mehmet KİTİŞ Süleyman Demirel Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ Yıldız Teknik Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Mehmet KILIÇ Süleyman Demirel Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Gökhan CİVELEKOĞLU Süleyman Demirel Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Mustafa KARATAŞ Aksaray Üniversitesi

Enstitü Müdürü **Doç. Dr. Yasin TUNCER**

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim

Mustafa ECE

İÇİNDEKİLER

Sayfa	
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1. Temel Akustik Kavramlar	4
2.1.1. Sinüs dalgası	4
2.1.2. Sesin yayılımı.....	7
2.1.3. Ses hızı	9
2.1.4. Dalga boyu ve frekans.....	10
2.1.5. Karışık ses dalgaları	12
2.1.6. Harmonikler	13
2.1.7. Faz	14
2.1.8. Oktavlar.....	16
2.1.9. Spektrum	17
2.2. Ses Seviyesi ve Desibel Kavramları	19
2.2.1. Desibel	21
2.2.2. Referans seviyeler	22
2.3. Akustik Güç ve Ağırlıklandırma.....	22
2.4. Açık Alanda Sesin Davranışı	25
2.4.1. Yansıma	29
2.4.2. Kırınım	37
2.5. Sesin Algılanması.....	37
2.5.1. İnsan kulağı anatomisi.....	38
2.6. Gürültü Hususundaki İdari ve Yasal Çerçeve	45
2.7. Gürültü ve İnsan Üzerine Etkileri	46
2.8. Trafik Gürültüsü Tahmin Modelleri.....	51
2.8.1. Temel istatistik model	53
2.8.2. İngiliz modeli, CoRTN prosedürü	56
2.8.3. Alman modeli, RLS90	59
2.8.4. İtalyan CRN modeli	61
3. MATERYAL VE YÖNTEM	64
3.1. Veri Temin ve Analiz Metotları	64
3.1.1. Coğrafya verileri	64
3.1.2. Bina verileri.....	67
3.1.3. Nüfus verileri	68
3.1.4. Meteorolojik veriler	70
3.1.5. Veri analiz metotları.....	70
3.2. NMPB Routes 96 Standartı ve Hesaplama Yöntemleri	76
3.2.1. Gürültü indikatörleri.....	78
3.2.2. Emisyon noktalarının tespit edilmesi	80
3.2.3. Kaynağın tanımlanması.....	81
3.2.4. Ses yayılımının irdelenmesi	82
3.2.4.1. Meteorolojik koşulların hesaplamalara etkisi	82

3.2.4.2. Geometrik sapma (A_{div})	89
3.2.4.3. Atmosferik absorpsiyon (A_{atm}).....	90
3.2.4.4. Zemin etkisi ($A_{grd,F}$)	91
3.3. Model Yazılımı	95
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	108
4.1. Gürültü Azaltım Senaryoları	108
4.1.1. Gerçek yol geometrisi bazında değerlendirme.....	109
4.1.2. Trafik akım hızının etkisi	116
4.1.3. Hafif araç trafiğinin hızının incelenmesi.....	119
4.1.4. Yol yüzeyi kaplamasının etkisi	122
4.1.5. Yol yüzeyi ve hız değişiminin irdelenmesi	125
4.1.6. Alternatif güzergah uygulamasının irdelenmesi	130
4.1.7. Alternatif güzergah ve bariyer uygulamasının irdelenmesi	133
4.1.8. Alternatif güzergahlarda bariyer uygulamasının irdelenmesi	136
4.2. Gürültü Azaltım Senaryolarının Karşılaştırılması.....	139
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	151
6. KAYNAKLAR	153
ÖZGEÇMİŞ	157

ÖZET

Doktora Tezi

KARAR DESTEK YARDIMCISI OLARAK GÜRÜLTÜ HARİTALAMA YAZILIMI İLE TRAFİK GÜRÜLTÜSÜ ÜZERİNE FARKLI SENARYOLARIN İRDELENMESİ, ANTALYA ÖRNEĞİ

Mustafa ECE

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

I. Danışman Doç. Dr. İsmail TOSUN

II. Danışman Prof. Dr. Kamil EKİNCİ

Trafik gürültüsü yoğun trafiği olan bölgelerde insanların en çok karşılaştığı ve rahatsız olduğu gürültü türüdür. Gürültünün insan sağlığı üzerine psikolojik, fizyolojik ve sosyo-ekonomik etkileri bulunmaktadır. Trafik gürültüsü modelleri ile maruziyetlerin belirlenmesine yönelik çalışmalar yeterli düzeyde değildir. Bu çalışmanın amacı, trafik kaynaklı gürültünün azaltılması sürecinde karar vericilerin kararlarını desteklemek için karar destek yardımcısı olarak gürültü haritalama yazılımlarının kullanılması ve oluşturulacak farklı senaryoların modelleme yazılımı üzerinde test edilmesidir. Çalışmada, trafik kaynaklı gürültünün modellenmesinde SoundPLAN yazılımı kullanılmış ve gürültü hesaplamaları Ülkemiz ve Avrupa Birliği çevresel gürültü mevzuatınca kabul görmüş NMPB-Routes 96 standardına göre yapılmıştır. Bu standart gereği; modelde Antalya şehri özelinde derlenen coğrafya ve geometri verileri ile nüfus, bina, meteoroloji ve trafik verileri kullanılmıştır.

Derlenen veriler yazılımda kullanılarak gürültü haritası oluşturulmuş ve doğrulaması yapılmıştır. Trafik akış miktarı, hızı ve zemin kaplaması değişkenleri dikkate alınarak farklı senaryolar oluşturulmuştur. Bu senaryolar sonucunda elde edilen gürültü değerleri, maruz kalma kategorileri bazında incelenmiş ve bu kategorilere maruz kalan; nüfus, bina sayısı ve özel binalar bazında sayısallaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, araç hızlarındaki artışın gürültüye maruz kalan insan sayısını arttırdığı, zemin kaplaması türünün ses yayılımında etkili olduğu ve araç türlerinin gürültüye maruz kalma seviyelerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür. Gürültünün sayısal ifadelerle çevrilerek somutlaştırılması karar vermekle yetkili makamların alacakları yatırım kararlarında ve idari önlemlerin alınmasında etkili olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çevresel Gürültü, Gürültü Haritaları, Karayolu Gürültüsü Modelleri, SoundPLAN

2015, 157 sayfa

ABSTRACT

PhD. Thesis

EVALUATION OF DIFFERENT SCENERIOS ON TRAFFIC NOISE USING NOISE MAPPING SOFTWARE AS DECISION SUPPURT SYSTEM: A CASE STUDY FOR ANTALYA

Mustafa ECE

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Enviromental Engineering**

Supervisor Assoc. Prof. Dr. İsmail TOSUN

Co-Supervisor Prof. Dr. Kamil EKİNCİ

Traffic noise is a kind of noise which makes people feel uncomfortable and face mostly with heavy traffic areas. There are psychological, physiological and socio-economic effects of noise on human health. The studies to determine the exposure to traffic noise models are not adequate. The aim of this study is to use noise mapping and modeling software to support the decision taken by decision makers during the reduction of traffic-induced noise and to test different scenarios on modeling software. In this study, SoundPLAN software was used in the modelling traffic-induced noise and calculations were made according to NMPB-Routes 96, which have been accepted by environmental noise legislation of the European Union and our country. As required by this standard, population, geography, geometry, building, meteorology, and traffic data related to Antalya were used.

The noise maps were built using compiled data in software and validation were made. Different scenarios considering variables such as the amount of traffic flow, speed and floor covering were formed. The noise values obtained as a result of this scenario were examined on the basis of categories of exposure and were digitized based on population, the number of buildings and private buildings, which the exposure to this category. Results showed that increase in the vehicle speed increases the number of people exposed to noise, flooring types was effective on spreading noise, and vehicle types had significant effect on the levels of noise exposure. In conclusion, concretizing the digitized noise data are expected to be effective on the authorities who is responsible for making decision on investment and administrative measures.

Keywords: Environmental Noise, Noise Maps, Road Traffic Noise Models, SoundPLAN

2015, 157 pages

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda destek, ilgi ve sabırlarını eksik etmeyen, bilgi ve tecrübelerini; açık, sade ve anlaşılır şekilde aktaran tez danışmanlarım Sayın Doç. Dr. İsmail TOSUN ve Sayın Prof. Dr. Kamil EKİNCİ beylere,

Tez aşamasında, Tez İzleme Komitesi olarak tezin gelişmesine ve olgunlaşmasına katkı sağlayan; Sayın Prof. Dr. Mehmet KİTİŞ'e, Sayın Doç. Dr. Mehmet KILIÇ'a, Sayın Doç. Dr. Gökhan CİVELEKOĞLU'na,

Tez savunması kapsamında tecrübe ve bilgilerini aktaran, yapıcı eleştirileri ile tez çalışmamı zenginleştiren Sayın jüri üyelerine,

Tez çalışmasında modelleme ve veri temini aşamasında; bilgi ve tecrübelerini cömert biçimde paylaşan TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü'nün değerli bilim adamlarından olan Sayın Nesimi ÖZKURT'a, Sayın Deniz SARI'ya, Sayın Samet Feyyaz HAMAMCI'ya,

Lisans eğitimimden doktora çalışmasına kadar hayat tecrübelerinden ve bilgilerinden istifade ettiğim; Sayın İsmail TOSUN, Sayın Kamil EKİNCİ, Sayın Mehmet KILIÇ ve Sayın Hasan KÖSEOĞLU ile birlikte merhum Süleyman MAZLUM'a,

Doktora dönemi boyunca, sabır gösteren eşim Sayın Sevgi ATALAY ECE Hanımefendiye,

Tezin her aşamasında ve çalışma konularımızda; ilgi, yardım ve desteklerini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesi ile tezin ortaya çıkmasına sebep olan kıymetli Çevre Yüksek Mühendisi Nazlı Seda YALÇINDAĞ Hanımefendiye,

teşekkür ederim.

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Yay ve ağırlıktan oluşturulan sistem (Everest, 2009).....	4
Şekil 2.2. Denge durumundaki bir hava parçacığının hareketi	6
Şekil 2.3. Temel parçacık hareketi formları.....	7
Şekil 2.4. Basınç bölgeleri ve hareket yönleri.....	8
Şekil 2.5. Sinüs dalgası temelinde basınç değişimi.....	9
Şekil 2.6. Dalga boyu ve pik genliği.....	11
Şekil 2.7. Dalga boyu ve frekans ilişkisi.....	12
Şekil 2.8. Sinüs dalgalarının kombinasyonu ve harmonikler.....	13
Şekil 2.9. Fazlar ve gecikmeler	15
Şekil 2.10. Temel harmonikten farklı fazlarda başlama durumu	15
Şekil 2.11. Oktav ve harmonik konseptlerinin karşılaştırılması	16
Şekil 2.12. Dalga formları ve frekanslar	18
Şekil 2.13. Ağırlıklandırmaların frekanslara göre değişimi.....	24
Şekil 2.14. Nokta kaynaktan sesin yayılımı	26
Şekil 2.15. Nokta kaynaktan sesin yayılımı	28
Şekil 2.16. Noktasal bir kaynaktan gelen sesin düz yüzeyde yansması.....	30
Şekil 2.17. Yansıma ve zahiri kaynak konumları	30
Şekil 2.18. Paralel yüzeylerde yansıma.....	31
Şekil 2.19. Düzlem ses dalgasının konveks yüzeyindeki davranışı	33
Şekil 2.20. Düzlem ses dalgasının konkav yüzeyde davranışı.....	33
Şekil 2.21. Parabolik yüzeyde ses dalgalarının davranışı	34
Şekil 2.22. Köşeli yansıtıcılarda yansıma özelliği	36
Şekil 2.23. Yankılanma süresinin belirlenmesi.....	36
Şekil 2.24. İnsan kulağının başlıca bölümleri	39
Şekil 2.25. Kulak kanalı şematik gösterimi	40
Şekil 2.26. Kulak kanalı rezonans tepkisi gösterimi	41
Şekil 2.27. Orta kulak empedansın eşitlenmesi mekanizması (Everest, 2009).....	42
Şekil 2.28. İnsan kulağı bölümleri şematik gösterimi (Everest, 2009)	43
Şekil 3.1. Gürültü tahmin modelleri veri örgüsü.....	64
Şekil 3.2. Tez alanının boyutlandırılmış bir görüntüsü.....	67
Şekil 3.3 Tez çalışma alanı tampon bölgesi	70
Şekil 3.4. Araç sayımı kapsamında sayım noktaları ve kavşak noktaları	74
Şekil 3.5. Gözlemlenebilir meteorolojik koşullara ve etkilerini nitel olarak tanımlayan abak (NMPB Routes 96)	83
Şekil 3.6. Zemin etkisinin meydana geldiği bölgeler.....	92
Şekil 3.7. Yol özellikleri penceresi	98
Şekil 3.8. Kavşak ve yol profilleri girişi penceresi	99
Şekil 3.9. Yol profili tanımlaması	100
Şekil 3.10. Yazılımda kullanılacak farklı yol profilleri	100
Şekil 3.11. Araç tiplerine göre tanımlanan emisyon kaynağı noktaları	101
Şekil 3.12. Gündüz, akşam, gece emisyon seviyeleri veri girişi ara yüzü	102
Şekil 3.13. Araç sayım planı krokisi	106
Şekil 4.1. Senaryo 1 için L_{gag} gürültü düzeyleri.....	110
Şekil 4.2. Senaryo 1 için $L_{gündüz}$ gürültü düzeyleri.....	110
Şekil 4.3. Senaryo 1 için $L_{akşam}$ gürültü düzeyleri.....	111
Şekil 4.4 Senaryo 1 için L_{gece} gürültü düzeyleri.....	111
Şekil 4.5. Gündüz zaman dilimi için model sonuçları ile ölçüm değerleri arasındaki ilişki.....	113

Şekil 4.6. Akşam zaman dilimi için model sonuçları ile ölçüm değerleri arasındaki ilişki.....	114
Şekil 4.7. Gece zaman dilimi için model sonuçları ile ölçüm değerleri arasındaki ilişki.....	114
Şekil 4.8. L_{gag} değerleri bazında model ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırması.....	115
Şekil 4.9. Senaryo 2 için $L_{gündüz}$ gürültü düzeyleri.....	116
Şekil 4.10. Senaryo 2 için $L_{akşam}$ gürültü düzeyleri.....	117
Şekil 4.11. Senaryo 2 için L_{gece} gürültü düzeyleri.....	117
Şekil 4.12. Senaryo 2 için L_{gag} gürültü düzeyleri.....	118
Şekil 4.13. Senaryo 3 için $L_{gündüz}$ gürültü düzeyleri.....	119
Şekil 4.14. Senaryo 3 için $L_{akşam}$ gürültü düzeyleri.....	120
Şekil 4.15. Senaryo 3 için L_{gece} gürültü düzeyleri.....	120
Şekil 4.16. Senaryo 3 için L_{gag} gürültü düzeyleri.....	121
Şekil 4.17. Senaryo 4 için $L_{gündüz}$ gürültü düzeyleri.....	122
Şekil 4.18. Senaryo 4 için $L_{akşam}$ gürültü düzeyleri.....	123
Şekil 4.19. Senaryo 4 için L_{gece} gürültü düzeyleri.....	123
Şekil 4.20. Senaryo 4 için L_{gag} gürültü düzeyleri.....	124
Şekil 4.21. Senaryo 5.1 için $L_{gündüz}$ gürültü düzeyleri.....	125
Şekil 4.22. Senaryo 5.1 için $L_{akşam}$ gürültü düzeyleri.....	126
Şekil 4.23. Senaryo 5.1 için L_{gece} gürültü düzeyleri.....	126
Şekil 4.24. Senaryo 5.1 için L_{gag} gürültü düzeyleri.....	127
Şekil 4.25. Senaryo 5.2 için $L_{gündüz}$ gürültü düzeyleri.....	127
Şekil 4.26. Senaryo 5.2 için $L_{akşam}$ gürültü düzeyleri.....	128
Şekil 4.27. Senaryo 5.2 için L_{gece} gürültü düzeyleri.....	128
Şekil 4.28. Senaryo 5.2 için L_{gag} gürültü düzeyleri.....	129
Şekil 4.29. Senaryo 6 için $L_{gündüz}$ gürültü düzeyleri.....	131
Şekil 4.30. Senaryo 6 için $L_{akşam}$ gürültü düzeyleri.....	131
Şekil 4.31. Senaryo 6 için L_{gece} gürültü düzeyleri.....	132
Şekil 4.32. Senaryo 6 için L_{gag} gürültü düzeyleri.....	132
Şekil 4.33. Senaryo 7 için $L_{gündüz}$ gürültü düzeyleri.....	134
Şekil 4.34. Senaryo 7 için $L_{akşam}$ gürültü düzeyleri.....	134
Şekil 4.35. Senaryo 7 için L_{gece} gürültü düzeyleri.....	135
Şekil 4.36. Senaryo 7 için L_{gag} gürültü düzeyleri.....	135
Şekil 4.37. Senaryo 8 için $L_{gündüz}$ gürültü düzeyleri.....	137
Şekil 4.38. Senaryo 8 için $L_{akşam}$ gürültü düzeyleri.....	137
Şekil 4.39. Senaryo 8 için L_{gece} gürültü düzeyleri.....	138
Şekil 4.40. Senaryo 8 için L_{gag} gürültü düzeyleri.....	138
Şekil 4.41. Senaryolara göre ses seviyesi aralıkları bazında etkilenen alanların kıyaslanması.....	143
Şekil 4.42. Senaryolara göre ses seviyesi aralıkları bazında etkilenen konut sayısının kıyaslanması.....	144
Şekil 4.43. Senaryolara göre ses seviyesi aralıkları bazında etkilenen nüfusun kıyaslanması.....	144
Şekil 4.44. Araç tiplerinin hız değişimlerinin L_{max} seviyesi cinsinden değişimi.....	148

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. Sesin farklı ortamlarda yayılma hızı	10
Çizelge 2.2. Bazı kaynakların ses basınç seviyeleri ve ses basınçları	23
Çizelge 2.3. ÇGDYY uyarınca karayolu çevresel gürültü sınır değerleri.....	46
Çizelge 2.4. Ses seviyeleri ile ilgili meydana gelebilecek olası etkiler	48
Çizelge 2.5. RLS90 modelindeki terimlerin açıklamaları.....	61
Çizelge 2.6. ΔL_v (dBA) ifadesinin ortalama trafik akış hızına bağlı olarak değişim	62
Çizelge 2.7. Yolun sathi kaplamasına bağlı olarak ΔLS değerindeki değişim	63
Çizelge 3.1. CORINE arazi sınıflandırması temel başlıkları	66
Çizelge 3.2. Tezde kullanılan CORINE sınıflandırması ve yutuculuk katsayısı	67
Çizelge 3.3. Tez çalışma alanındaki nüfus ve yüzölçümü verileri.....	69
Çizelge 3.4. Tez alanı kavşak noktaları ve koordinatları	71
Çizelge 3.5. Araç sınıflandırmasında kullanılan prosedür	72
Çizelge 3.6. Antalya İli yakın çevresi yol kesimleri için k değerleri	73
Çizelge 3.7. Veri analiz ve temin özeti	75
Çizelge 3.8. Gözlemlenebilir meteorolojik koşulların tanımları.....	84
Çizelge 3.9. Uygun ses yayılım koşullarının meydana gelmesi hakkındaki tavsiye tablosu	86
Çizelge 3.10. Bağıl nem ve sıcaklıkla ilgili olarak tavsiye tablosu	87
Çizelge 3.11. Zorluk, doğruluk ve bütçe başlıkları için renk ve şekil kodları	87
Çizelge 3.12. Zorluk, doğruluk ve bütçe başlıkları için renk kodları	88
Çizelge 3.13. Sıcaklık ve bağıl neme bağlı olarak atmosferik absorpsiyon katsayıları	91
Çizelge 3.14. Otav bant temelinde azalma hesaplama prosedürü.....	94
Çizelge 3.15. Antalya İli yakın çevresi yol kesimleri için k değerleri tablosu	104
Çizelge 3.16. Araç sayım sonuçları	106
Çizelge 4.1. Oluşturulan senaryolardaki değişkenler ve durumları	109
Çizelge 4.2. Model ile arazi ölçümlerinin karşılaştırma tablosu.....	112
Çizelge 4.3. 55 dBA'dan fazla gürültüye maruziyetin L_{gag} göstergesi üzerinden değerlendirilmesi.....	140
Çizelge 4.4. 65 dBA'dan fazla gürültüye maruziyetin L_{gag} göstergesi üzerinden değerlendirilmesi.....	141
Çizelge 4.5. 75 dBA'dan fazla gürültüye maruziyetin L_{gag} göstergesi üzerinden değerlendirilmesi.....	142
Çizelge 4.6. Senaryo karşılaştırılması ve hedefleri	145
Çizelge 4.7. Trafik hacmindeki değişiminin ses seviyesine etkisi.....	147
Çizelge 4.8. Senaryolar bazında gürültüye maruz kalan nüfusun değerlendirilmesi	149
Çizelge 4.9. ÇGDYY Ek VII Tablo 1 verileri	150

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

μPa	Mikropaskal
A_{atm}	Atmosferik yutum
AB	Avrupa Birliği
$A_{\text{dif},F}$	Kırılma azaltımı
A_{div}	Geometrik sapma
$A_{\text{grd},F}$	Zemin azaltımı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CoRTN	Trafik gürültüsünün hesaplanması (Calculation of Road Traffic Noise)
CRN	İtalyan Ulusal Araştırma Konseyi (Consiglio Nazionale delle Ricerche)
CSTB	Fransız Bilimsel ve teknik Merkezi (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment)
ÇGDYY	Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği
d	Trafiğin akış orta hattı ile gözlem noktası arasındaki mesafe
d'	Kaynak ile alıcı arasındaki mesafe, metre
dB	Desibel
d_p	Alıcı ile kaynak arasındaki iz düşümü mesafesi
EC	Avrupa Komisyonu (European Commission)
END	Çevresel Gürültü Direktifi (The Environmental Noise Directive)
f	Sesin frekansı, Hz
ft	Feet
G	Zemin yansıtıcılık katsayısı
h_r	Alıcı yüksekliği
h_s	Kaynak yüksekliği
Hz	Hertz
I	Ses yoğunluğu
IL	Ses yoğunluğu seviyesi
I_{ref}	Referans ses yoğunluğu
k	Saatlik araç sayısı hesaplama faktörü
L_{50}	Ölçüm zamanının %50'sinde alıcıya gelen sinyallerin aştığı değer
Lakşam	Akşam gürültü göstergesi
Leq	Eşdeğer gürültü seviyesi
Lgag	Gündüz-Akşam-Gece gürültü göstergesi
Lgece	Gece gürültü göstergesi
Lgündüz	Gündüz gürültü göstergesi
L_{ME}	Ortalama emisyon düzeyi
m	Metre
m^2	Metrekare
ms	Milisaniye
NMPB	Yeni Gürültü Tahmin Yöntemi (Nouvelle Methode de Prevision de Bruit)
OGT	Günlük ortalama trafik yoğunluğu
OSY	Ortalama serbest yol
p	Akustik basınç değer
p,%	Araç tipinin toplam trafik akışı içindeki oranı
Pa	Paskal
p_{ref}	Referans akustik basınç değer
POI	İlgi Noktası (Point of Interest)
PWL	Ses gücü seviyesi
Q	Saatlik bazda trafikteki araç sayısı

R _{DA}	RLS90 modeli hava absorpsiyonu düzeltmesi
R _E	RLS90 modeli bina yüzeylerinin absorpsiyon düzeltmesi
R _{GA}	RLS90 modeli atmosferik ve zemin azalması
RLS	Alman Yollarda Gürültü Koruma Kuralları (Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen)
RMR	Demiryolu Trafığı Hesaplama Yöntemi (Reken MeervoorscriftRailverkeerslawaa)
R _{RF}	RLS90 modeli yol profili düzeltmesi
R _{RS}	RLS90 modeli yol yüzeyi düzeltmesi
R _{SL}	RLS90 modeli hız limitleri düzeltmesi
R _{TB}	RLS90 modeli topografya ve binalardan kaynaklanan azalma,
s	Saniye
S	Boşluk yüzey alanı, ft ²
SPL	Ses basıncı seviyesi
SRTM	Gezici Radar Topografya Görevi (Shuttle Radar Topography Mission)
UTM	Evrensel Yatık Eksenli Merkatör (Universal Transverse Mercator)
V	Boşluk hacmi, ft ³
v	Ses hızı, m/s
YOGT	Yıllık Ortalama Günlük Trafik, adet
W	Ses gücü, Watt
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
W _{ref}	Referans ses gücü, Watt
α	Atmosferik yutum katsayısı
θ_i	Sesin yüzeye geliş açısı, °
θ_r	Sesin yüzeyden yansıma açısı, °
λ	Sesin dalga boyu, m

1 GİRİŞ

Ses, hava veya diğere elastik ortamlardaki dalga hareketidir (Everest, 2009). Diğere bir ifade ile dalgalar halinde yayılan bir enerji şeklidir (Özguven, 2008). Ses dalgalar halinde yaptığı hareketi dolayısı ile elastik ortamlarda basınç değışimine sebep olmakta ve insan kulağı tarafından algılanabilmektedir. Bu kapsamda ses, insanlar açısından bakıldığında beş duyardan bir tanesini ifade eder.

Gürültü ise öznel bir kavram olup; ses ise gürültüden farklı olarak nesneldir ve frekans, dalga boyu, basınç değışim miktarı ve benzeri terimler ile matematiksel olarak ifade edilebilir. Ses büyüklüğü, kişiye bağılı olarak değışmez iken, gürültü kavramı kişiden kişiye algılanma farklılıkları gösterir. Aynı kişinin içerisinde bulunduğu farklı sosyolojik ve psikolojik koşullar altında dahi algı farklılığı sebebiyle değışim gösterebilir.

Gürültü; istenmeyen, hoşu gitmeyen, rahatsız eden ses olarak tanımlanabilir. Bu sebeple rahatsızlık derecesi arttıkça gürültünün insan üzerindeki etkileri de artmakta ve insan ve toplum sağılığını etkileyen bir sorun haline gelmektedir.

Son 10 yıl içinde ülkemizde gürültü kaynaklı meydana gelen olumsuzlukların önlenmesi veya etkilenen sayısının ve etkilenme düzeyinin düşürülmesi noktasında çalışmalar önem kazanmaktadır.

Gürültünün diğere çevre kirleticilerinden farklı olarak tespit edilmesi ve yönetimi zordur. Çünkü gürültü, kalıntı bırakmaz ve insan üzerindeki etkileri kısa zamanda kendini göstermez. Bu durumda, gürültünün çevresel gürültü kavramı içerisinde tanımlanabilmesi ve gürültü olarak algılanan sesin akustik olarak incelenmesi önemlidir. Çevresel gürültü kavramı içerisinde değıerlendirilen sesin akustik olarak incelenebilir olması sayesinde insan yaşamını etkileyebilecek gürültü seviyeleri belirlenebilmektedir. Bir diğere ifade ile soyut ve kişiye bağılı olan gürültü kavramı, akustik temel büyüklükler ile somutlaştırılarak yönetimi sağılanmaya çalışılmaktadır. Somut ve temel büyüklükler ile ifade edilebilen gürültü, bilgisayar simülasyonları kullanılarak incelenebilmekte ve yayılımı ve karakteri ortaya konulabilmektedir.

Gürültünün, temel akustik büyüklükler kapsamında somutlaştırılmasının ardından yasal mevzuat ile tanımlanacak sınır değerler ile gürültünün yönetilebilirliği desteklenmektedir. Bu kapsamda ülkemizde, Avrupa Birliği uyumlaştırma süreci çerçevesinde yasal mevzuatın gelişimi devam etmektedir. Ülkemizde gürültünün yönetimi konusunda çalışan kurumlar ile mevzuat kapsamında görev ve sorumluluğu olan kurumların eş güdüm içinde çalışmaları önemlidir. Bahsedilen eş güdümün oluşturulabilmesi ve gürültü konusunda yapılacak eylem planları noktasında, bilgisayar benzetimleri neticesinde elde edilen verilerin analizi ve uygulamaya yönelik tedbirlerin alınmasında son derece önemlidir.

Bu kapsamda, bilgisayar benzetimlerinin karar alma noktasında bulunan kurum ve şahısların işlerini kolaylaştırılacağı, verecekleri kararların ve uygulayacakları tedbirlerin akustik anlamda nasıl sonuçlar ortaya koyacağı ve farklı senaryoların test edilmesinin fayda sağlayacağı açıktır.

Çevresel gürültünün etkileri sesin akustik olarak incelenmesini gerektirmektedir. Çevresel gürültü akustik olarak incelenebilir. Bu sayede, insan yaşamını etkileyebilecek gürültü seviyesinin hem arazi şartlarında ölçüm yapılarak hem de bilgisayar benzetimleri kullanılarak belirlenmesine olanak tanımaktadır. Çevresel gürültülerin bilgisayar benzetimleri kullanılarak incelenebilmesi, bilgisayar modellerinin hassas matematiksel modeller kullanılmasını gerektirmektedir.

Trafik gürültüsünün modellenmesi çalışmaları günümüzden 50 yıl öncesinden itibaren çalışılmakta olup, günümüzde geliştirilen yöntemler ile modellerin hassasiyeti artmıştır. Günümüzde kullanılan modeller genel olarak araç sayıları, araçların türleri (hafif veya ağır), yol yüzeyinin özelliği, ses kaynağı ile alıcının arasındaki mesafe gibi değişkenleri kullanmaktadır. Dünyada çeşitli modeller oluşturulmuştur. Modellerin birbirlerinden farklı olmalarının sebebi ülkelerde kullanılan yol yüzeyi ve araç türlerinin farklı olması ve buna bağlı olarak trafik akışlarının karakteristik özelliklerinin bulunmasıdır.

Trafik gürültüsü kapsamında ses modellerinin kullanılmasının iki temel faydası bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, henüz oluşturulmamış yolların potansiyel ses seviyesinin önceden tahmin edilmesi ve alınacak önlemlerin önceden

değerlendirilmesinin sağlanmasıdır. Diğer faydası ise, mevcut durumdaki yolların fiziki olarak mikrofon yardımıyla ölçülmesinin yaratacağı iş yükünü azaltması ve mevcut yollar üzerinde yapılması düşünülen değişikliklerin etkilerinin önceden tespit edilmesine imkan sağlamasıdır. Karayolu kaynaklı gürültünün incelenmesinde çeşitli akustik modeller bulunmaktadır. Bu modeller hesaplamalarda kullandıkları veriler ve hesaplama yöntemleri bazında farklılık arz etmektedir.

Antalya'da karayolları önemli ölçüde gelişmiştir. Antalya, motorlu kara taşıtı sayısı büyüklüğü bakımından 833.281 adet araç ile Türkiye'nin dördüncü İli durumundadır (EGM, 2013). Bunun yanı sıra ulaşım açısından incelendiğinde Antalya, Türkiye'nin temel trafik akslarının dışında olsa da turizm, sera ve narenciye alanlarındaki kapasitesi nedeniyle önemli trafik potansiyeline sahiptir. İlde toplu taşıma araçlarının yanı sıra hafif taşıt trafiğinin fazla oluşu gürültü seviyelerin yükselmesine yol açan faktörlerdir.

Genel itibariyle yolların darlığı ve trafik yoğunluğu, yolların her iki tarafında genelde bitişik ve yüksek yapıların yer alması, karayolundan kaynaklanan gürültünün artmasına neden olmaktadır. Karayolu gürültüsüne etki eden önemli etmenlerden birisi de trafik akışıdır. Ulaşım akışının niteliği (kesikli veya kesiksiz akış), durmalar, ivmelenmeler (kavşak, trafik lambaları ve ulaşım sıklığı ile) ve vites değişimlerinin çevresel gürültü düzeylerine önemli etkileri mevcuttur (Tsunokawa ve Hoban, 1997).

Bu çalışmada, trafik kaynaklı gürültünün önlenmesi veya kabul edilebilir sınırlar içine çekilebilmesi maksadı ile bilgisayar benzetimlerinin karar destek sistemleri kapsamında kullanılması ve trafik gürültüsünün azaltılması için oluşturulacak farklı senaryoların modelleme yazılımı üzerinde test edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Antalya şehri sınırları içerisinde bulunan Gazi Bulvarı'nda çalışmalar yapılarak bu bölgenin coğrafi ve geometrik özelliklerinin modellenmesi, mevcut trafik akışı ve satıh kaplaması ile gürültü haritasının çıkarılması ve doğrulaması yapılmış ve kullanılan modeller ile gürültünün azaltımı için farklı senaryolar oluşturulmuştur.

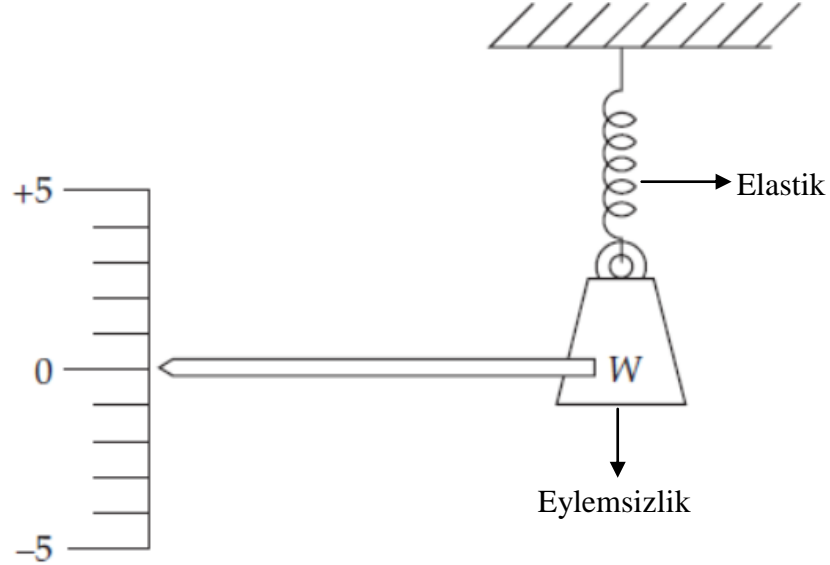
2 KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Temel Akustik Kavramlar

Trafik kaynaklı gürültünün önlenmesi veya kabul edilebilir sınırlar içine çekilebilmesinin inceleneceği simülasyon ortamında kullanılacak veri setlerinin tespit edilmesi ve sağlıklı bir şekilde sağlanabilmesi için özellikle akustik temel kavramların açıklanması önemlidir.

2.1.1 Sinüs dalgası

Bir yayın ucuna asılmış ağırlık ile oluşturulmuş bir sistem Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Eğer ağırlık -5 değeri hizasına kadar aşağıya çekilirse ve daha sonra bırakılırsa yay ağırlığı yukarı doğru çekecektir. Ancak sistem 0 değerinde durmayacaktır. Eylemsizlik ağırlığı +5 değerine kadar çıkartacaktır. Ağırlık yay ucunda hareketine devam edecektir. Ancak zamana bağlı olarak yayın ve havanın sürtünmesi ile titreşim veya salınım genliği düşecektir.



Şekil 2.1. Yay ve ağırlıktan oluşturulan sistem (Everest, 2009)

Ağırlık ve yaydan oluşturulan düzenek sayesinde titreşim ve salınım mümkün olmaktadır. Çünkü düzenekte bulunan yay elastik bir ortamı, ağırlık ise eylemsizliği meydana getirmektedir. Elastiklik ve eylemsizlik tüm ortamlarda sesin meydana gelmesi için mutlaka bulunması gereken iki bileşendir. Aynı durum insanın ellerini birbirine vurduğunda çıkan alkış sesinde de görülebilir. Bu durumda elastik ortam

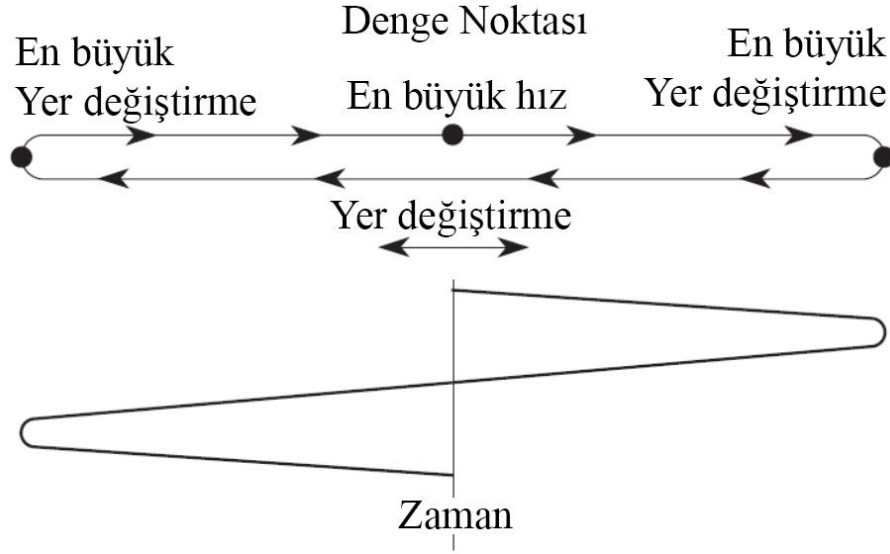
hava, eylemsizliği ortaya çıkararak ise insanın ellerini birbirine doğru hareket ettiren kas gücüdür.

Şekil 2.1'deki düzenek neticesinde basit harmonik hareket oluşmaktadır (Everest, 2009). Diğer bir örnek de otomobil motorunda bulunan krank Őaftına bađlanmıŐ pistonlardır. Krank Őaftının yukarı ve aşağıya hareketi ile pistonlarda oluşan hareket, dönme hareketinin tetiklediği çizgisel harmonik hareketine çok güzel bir örnektir. Pistonlarda oluşan hareketin zamana bağlı olarak grafik Őekline dönüştürülmesi sinüs dalgasının formunu gösterecektir. Mekanik bir hareket sonrası oluşan temel dalga grafiği ses ve elektronikte sıklıkla karşımıza çıkan sinüs dalgasını ortaya çıkarmaktadır. Sinüs dalgası en temel dalga Şeklidir ve basit harmonik hareket ile yakından ilgilidir.

Ses, gazlar (hava), sıvılar (su) ve katılar (beton) gibi elastik ortamlarda kolayca ilerleyebilmektedir. Ses; yoğun ortamlarda, daha az yoğun ortamlara göre daha iyi ilerler. Ses içinde ilerleyebileceği bir ortama ihtiyaı vardır. Vakumlu ortamlarda ses yayılmaz (Bardley, 2008).

Eğer çok küçük bir hava parçacığı, bulunduğu orijinal pozisyondan hareket ettirilirse havanın elastik kuvveti sayesinde eski pozisyonuna geri döner. Bunun sebebi söz konusu hava parçacığının eylemsizliğinin bozulması ve elastik kuvvetlerin hareketine ters bir kuvvet ile eski pozisyonuna geri dönmesini sağlamasıdır.

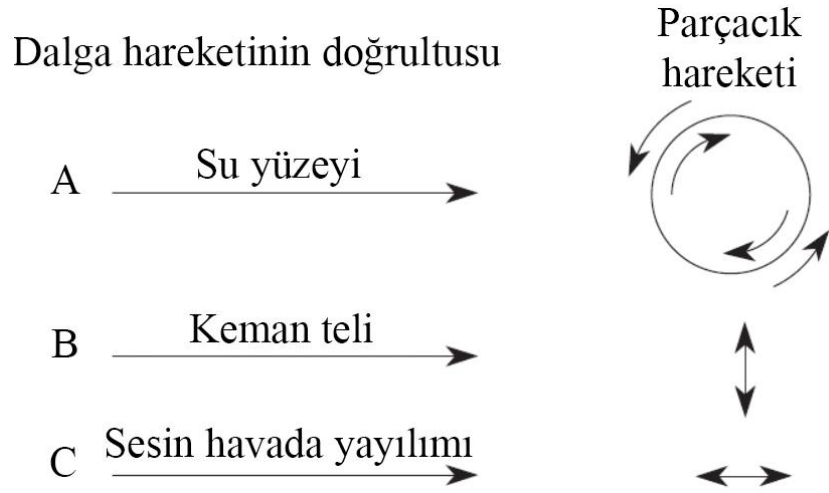
Bir hava parçacığı ses dalgasının yayılımı sırasında, kendi maksimum deplase noktasına kadar hareket edip daha sonra orijinal pozisyonuna döner. Bu durum Şekil 2.2'de Şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Denge durumundaki bir hava parçacığının hareketi

Hava parçacığının hızı denge noktasında maksimum iken, maksimum deplasman noktalarında sıfırdır. Parçacığın sahip olduğu maksimum hız, hız genliği olarak tarif edilirken, yaptığı maksimum deplasman ise deplasman genliği olarak adlandırılır. Maksimum parçacık hızı değeri çok küçüktür. Yüksek sesler için bu değer 1,3 cm/s'den küçüktür (Everest, 2009). Ses seviyesi, basit olarak insan kulağının hassasiyet aralığını ifade etmekte olup ses seviyesini düşürmek için parçacık hızını da düşürmemiz gerekmektedir. Parçacık hareketinin üç temel formu bulunmaktadır. Bunlar Şekil 2.3'de gösterilmiştir.

Örnek olarak bir taş parçası tamamen durgun bir su yüzeyine bırakılırsa ortak merkezli dalgalar oluşacaktır. Su parçacıkları ise belirli bir dairesel yörünge hareket edeceklerdir. Bir başka parçacık hareketi ise keman yayı şeklindeki harekettir. İnce elemanlar üzerinde gerçekleşen bu enine hareket neticesinde hareket yönüne dik dalgalar oluşacaktır. Üçüncü tip parçacık hareketi ise sesin hava içindeki yayılımını tarif etmektedir. Bu hareket tipinde partiküller sesin hareket yönünde hareket ederler. Bu dalga türüne de boyuna dalgalar denilmektedir.

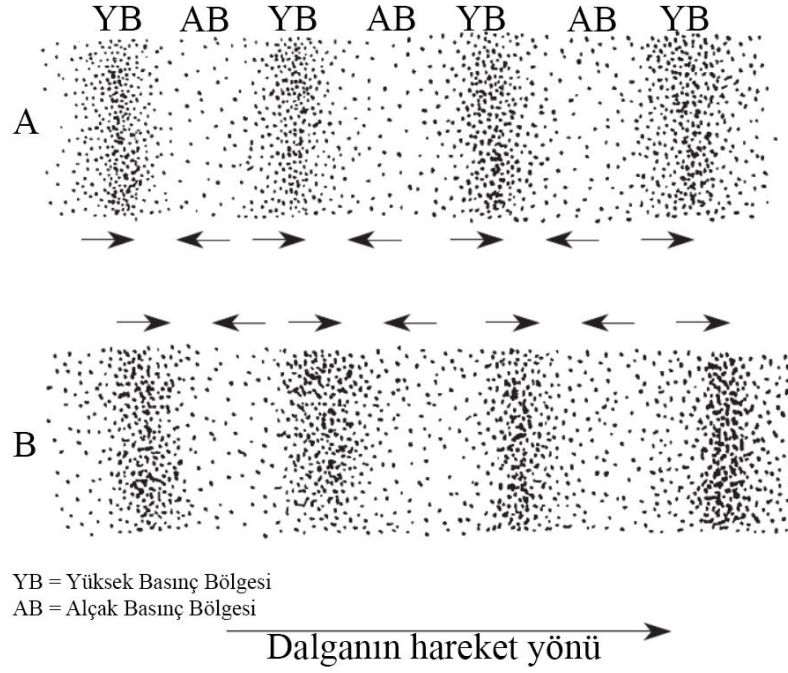


Şekil 2.3. Temel parçacık hareketi formları

2.1.2 Sesin yayılımı

Hava partiküllerinin ileri ve geri hareketlerini anlamak için hava basıncının değişiminin anlaşılması gerekmektedir. Bir santimetre küp hacmindeki havada milyonlarca hava molekülü bulunmaktadır. Bu hava moleküllerinin birbirleri ile yaklaştığı ve sayılarının arttığı diğer bir ifade ile sıkıştırıldıkları bölgelerde hava basıncı mevcut koşullardaki atmosfer basıncından yüksek (YB) olacaktır. Aynı şekilde hava moleküllerinin birbirlerinden uzakta olduğu, diğer bir deyişle aralıklı olduğu bölgelerde ise hava basıncı atmosfer basıncına kıyasla alçak (AB) olacaktır. Şekil 2.4'de şematik olarak gösterilen basınç bölgeleri arasında moleküllerin sıkışıp açılması ile basınç ileriye doğru aktarılmaktadır. Şekil 2.4, ses dalgası hareket yönünün sağ tarafa olduğu kabulü ile açıklanabilir.

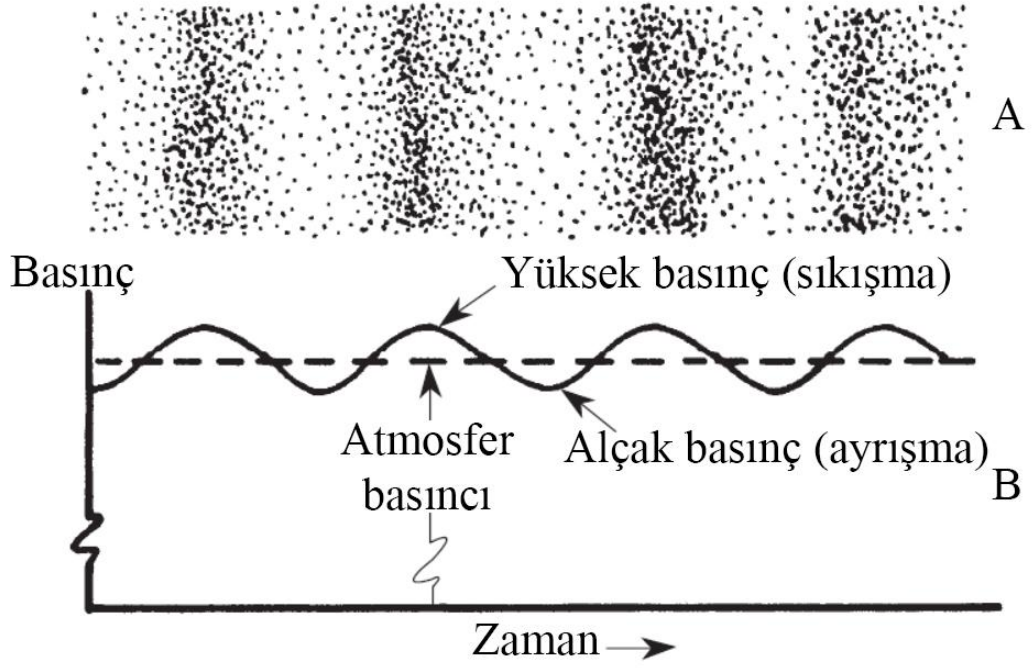
Hava molekülleri Şekil 2.4'deki gösterimin sağ tarafına sıkışmaktadır. Daha sonra iki sıkışma bölgesi arasında alçak basınçlı bir bölge oluşturmaktadır. "A" ile ifade edilen kısımda ses dalgaları sebebiyle hava partikülleri bazı bölgelerde birbirlerini sıkıştırmakta ve bazı bölgelerde ise yayılmakta/ayrılmaktadırlar, daha sonra ayrılan partiküllerin bir kısmı diğer bölgedeki hava moleküllerini sıkıştırmakta olup bu durumda ses hava basıncı değişikliği ile iletilmektedir.



Şekil 2.4. Basınç bölgeleri ve hareket yönleri

"B" ile ifade edilen kısımda, elastisite sebebiyle hava molekülleri yer değiştirdikten sonra orijinal pozisyonlarına geri dönmektedirler. Hava partikülleri belli bir mesafe sağ tarafa gittikten sonra aynı mesafede sola gitmekte ve eski pozisyonlarına dönmektedirler. Bu sayede ses dalgası değişmeyen şekilde sağ tarafa hareketine devam etmektedir. Ses, hava parçacıkları arasındaki momentum transferi ile iletilmektedir. Diğer bir ifade ile yüksek basınçlı bölgeden alçak basınçlı bölgeye hareket eden hava parçacıkları diğer bir yüksek basınçlı bölge oluşturmaktadır.

Yukarıda açıklandığı üzere sıkışma bölgesinde hava basıncı, atmosfer basıncından yüksek, ayrışma genişleme bölgesinde atmosfer basıncından alçaktır. Atmosfer basıncından oluşan bu farklılıklar oldukça düşük seviyededir. İnsan kulağının duyma sınırı olan $20 \mu\text{Pa}$, deniz seviyesindeki atmosfer basıncından (101.325 Pa) çok düşüktür. Bir sinüs dalgası temelinde atmosfer basıncındaki değişim Şekil 2.5'de gösterilmiştir (Johnson, 2015).



Şekil 2.5. Sinüs dalgası temelinde basınç değişimi

Bu şeklin, ses dalgasının basınç değişimi ile atmosfer basıncının üst üste yerleştirilmesi ile oluştuğu görülmektedir. Şekil 2.5'deki gösterimin "A" kısmında hava içerisinde hareket eden bir ses dalgasının sıkışan ve gevşeyen bölgeleri gösterilmiş olup, "B" kısmında ise sinüs dalgası özelinde atmosfer basıncından olan farklılıklar gösterilmektedir.

2.1.3 Ses hızı

Normal koşullar altında ses, havada 331 m/s (1191,6 km/saat) hız ile yayılır. Bu değer insan yapımı bazı araçların ulaştığı hızdan düşüktür. Ses hızı, ışık hızından oldukça yavaştır. Bu durum şimşekli havalarda ışığı sesinden önce görmemiz ile ölçülebilir. Duyulabilir aralıktaki sesin hızı; sesin yoğunluğu, frekansı ya da atmosfer basıncındaki değişimden bağımsızdır (Everest, 2009). Ses bulunduğu ortam içinde belirli bir hızda ilerler. Sesin farklı ortamlarda yayılma hızları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Yoğun moleküler yapılarda daha kolay ilerler, bunun sebebi yoğun moleküllerin ses enerjisini daha kolay iletmesinden kaynaklanır. Örnek verilecek olursa ses çelikte su içerisinde olduğundan daha kolay hareket eder. Hava sıcaklığı, havanın sahip olduğu

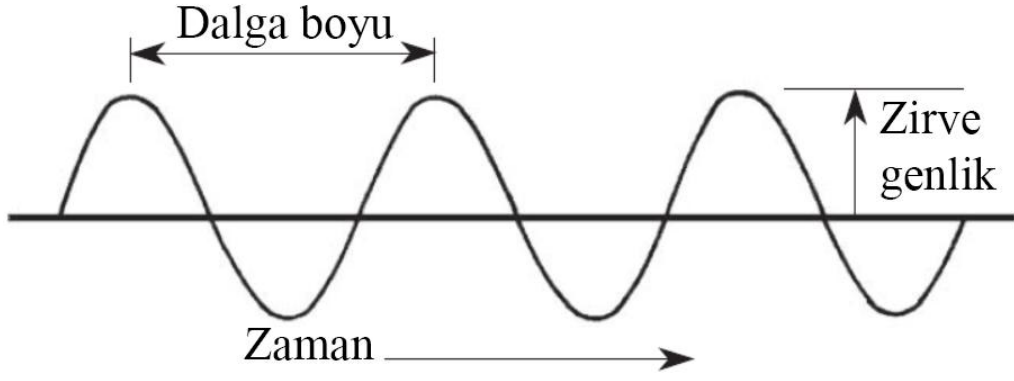
nem ve benzeri durumlar sesin yayılma hızını etkiler. Sesin hızı, ses enerjisinin belirli bir ortam içinde ne kadar hızlı hareket ettiğine (iletildiğine) bağlı olarak değişmektedir.

Çizelge 2.1. Sesin farklı ortamlarda yayılma hızı (Özgüven, 2008)

Sesin yayılacağı ortam	Yayılma hızı (m/s)
Hava (0 °C)	331
Mantar	500
Kurşun	1.200-2.400
Su	1.450
Sert kauçuk	1.400-2.400
Beton	3.200-3.600
Tahta	3.300-4.300
Tuğla	3.600
Dökme demir	3.500-5.600
Mermer	3.800
Cam	4.000-5.600
Pirinç	4.700
Bakır	3.600-4.760
Demir	5.100-6.000
Çelik	5.800-6.000
Alüminyum	5.100-6.400

2.1.4 Dalga boyu ve frekans

Bir sinüs dalgası Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Burada λ ile gösterilen ifade dalga boyu olup dalganın bir çevrimini tamamladığı süre içerisinde kat ettiği mesafe olarak da tarif edilebilir. Dalga boyu, dalga üzerindeki iki pik noktanın veya belirli iki noktanın arasındaki mesafenin ölçülmesi ile belirlenebilir. Ancak bu tanım sinüs dalgası gibi olan diğer periyodik dalgalar için geçerlidir.



Şekil 2.6. Dalga boyu ve pik genliği

Frekans (f) ise, dalganın bir saniyede yaptığı tam bir çevrim sayısıdır. Birimi Hertz (Hz) olup Eşitlik 2.1'deki gibi hesaplanır. Burada v ses hızı olarak ifade edilmiştir.

$$\lambda (m) = \frac{v \left(\frac{m}{s}\right)}{f \left(\frac{1}{s}\right)} \quad 2.1$$

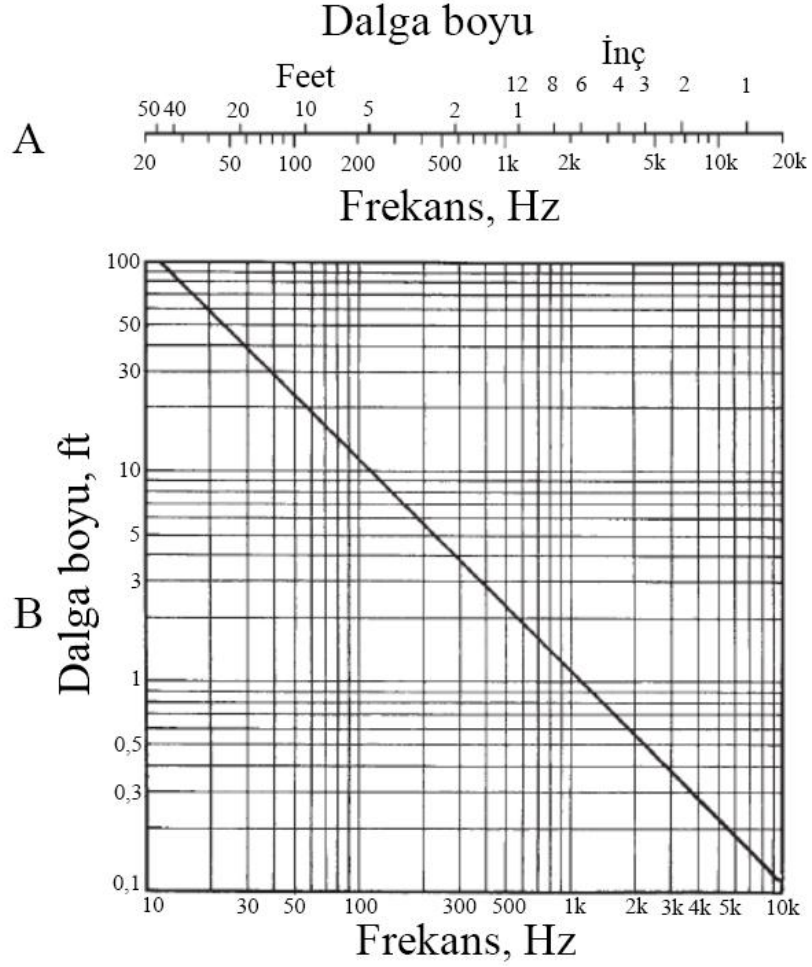
Bu eşitlikten frekans değeri çekilecek olur ise;

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad 2.2$$

ifadesine ulaşılır. Sesin hava içerisindeki hızı normal koşullar altında yaklaşık olarak 331 m/s olarak kabul edilirse hava içerisinde yayılan ses dalgası aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\lambda (m) = \frac{331}{f} \quad 2.3$$

Eşitlik 2.3 ses biliminde en temel ilişkilerden birini ifade etmektedir. Şekil 2.7'de bulunan abak bu ilişkidен faydalanılarak oluşturulmuş olup, kolay bir şekilde hesaplama yapabilmeyi sağlamaktadır.



Şekil 2.7. Dalga boyu ve frekans ilişkisi

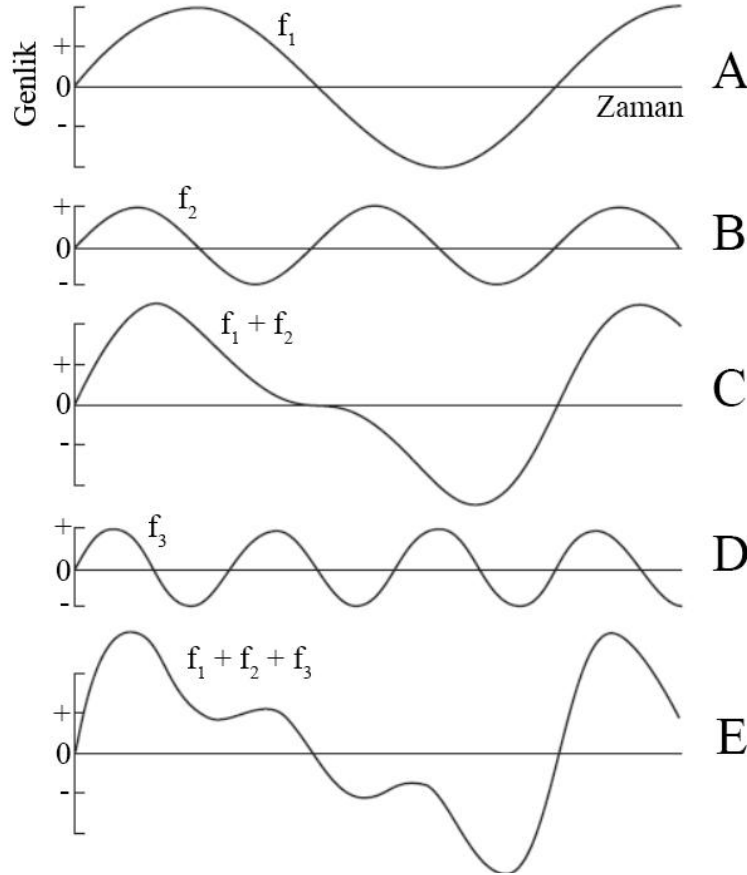
Şekil 2.7'de bulunan abak ses hızının 1.130 ft/s olduğu kabulü ile hazırlanmıştır. Gösterimin "A" kısmındaki grafikte dalga boyu ve frekans lineer bir şekilde gösterilmiş olup "B" kısmındaki grafikte ise dikey ekseninde dalga boyu ve yatay ekseninde frekans olarak hazırlanmıştır.

2.1.5 Karışık ses dalgaları

Konuşma ve icra edilen bir müzik parçası sırasında oluşan ses dalgaları, basit bir sinüs dalgasından çok daha farklı ve karışıktır. Bir ses dalgası her ne kadar karışık olursa olsun periyodik bir yapı sergiliyorsa sinüs dalgası parçalarına ayrılabilir. Bu ayrıştırma aşamasında farklı frekansta, farklı genlikte ve farklı fazda dalga formlarının karışık ses dalgasını oluşturduğu görülür.

2.1.6 Harmonikler

Basit bir sinüs dalgası genliği ve frekansı (f_1) olmak üzere Şekil 2.8'de verilen gösterimin (A) kısmında zamana bağlı olarak çizilmiştir. Aynı şekil üzerindeki (B) kısmında bir başka sinüs dalgası gösterilmiş olup frekansı (f_2), (A) kısmındaki sinüs dalgasına göre frekansı iki kat fazla ancak genliği yarısı kadardır. (C) kısmında ise (A) ve (B) kısmındaki sinüs dalgaları zaman içinde birleştirilmiştir. (D) kısmında ise görülen sinüs dalgası (A) kısmındaki sinüs dalgasının yarısı genliğinde ancak 3 katı fazla frekansa sahiptir. (D) kısmında gösterilen sinüs dalgası (C) kısmında gösterilen dalga formuna eklendiğinde ortaya (E) kısmında gösterilen dalga formu ortaya çıkmaktadır. (A) kısmında gösterilen basit sinüs dalgası diğer sinüs dalgalarının eklenmesi ile radikal olarak değişikliğe uğramıştır. Ancak ister ses dalgası isterse elektrik sinyali olsun bu proses tersine çevrilebilir. Bir diğer ifade ile (E) kısmındaki dalga formu f_1 , f_2 ve f_3 olmak üzere akustik ve elektriksel filtreler kullanılarak temel dalga formlarına dönüştürülebilir.



Şekil 2.8. Sinüs dalgalarının kombinasyonu ve harmonikler

Şekil 2.8'de verilen örnek temelinde düşünüldüğünde; bir karışık ses içerisindeki en büyük dalga boyuna sahip diğer bir deyişle en düşük frekanstaki sinüs dalgası “temel” olarak adlandırılırken frekansı temel sinüs dalgasının iki katı olan sinüs dalgası ikinci harmonik, frekansı üç katı olan sinüs dalgası ise üçüncü harmonik olarak adlandırılır. Bu isimlendirme aynı şekilde frekansa bağlı olarak devam eder.

2.1.7 Faz

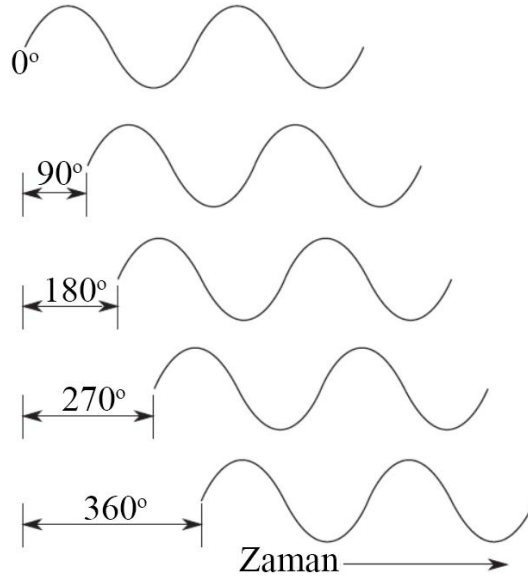
Şekil 2.8 incelendiğinde tüm sinüs dalgalarının sıfır genlikte başladıkları görülmektedir. Bu durum “faz içi” olarak adlandırılmaktadır. Bazı durumlarda harmonikler arasında veya temel ile harmonikler arasında başlama genlikleri bakımından farklar oluşabilmektedir. Bu durum en basit olarak araç motorlarında krank milinin pistonları hareket ettirmesi sırasında ortaya çıkar. Krank mili 360° 'lik bir dönüşünde, piston yukarı ve aşağıya hareket etmektedir. Bu durumda 360° 'lik her bir dönüşte tam bir basit sinüs dalgası formu oluşturmaktadır.

Bir diğer sinüs dalgası 90° 'lik bir gecikme ile başlar ise frekansı da 90° 'lik bir gecikmeye uğrayacaktır. Zamana bağlı olarak incelendiğinde ikinci sinüs dalgası çeyrek dalga boyu geç olarak hareketine başlayacaktır. Yarım dalga boyu gecikme 180° 'lik bir gecikmeyi işaret edecektir. Eğer 360° 'lik bir gecikme meydana gelir ise sinüs dalgaların pozitif ve negatif genlikteki pik noktaları çakışacak ve faz içi durum meydana gelecektir.

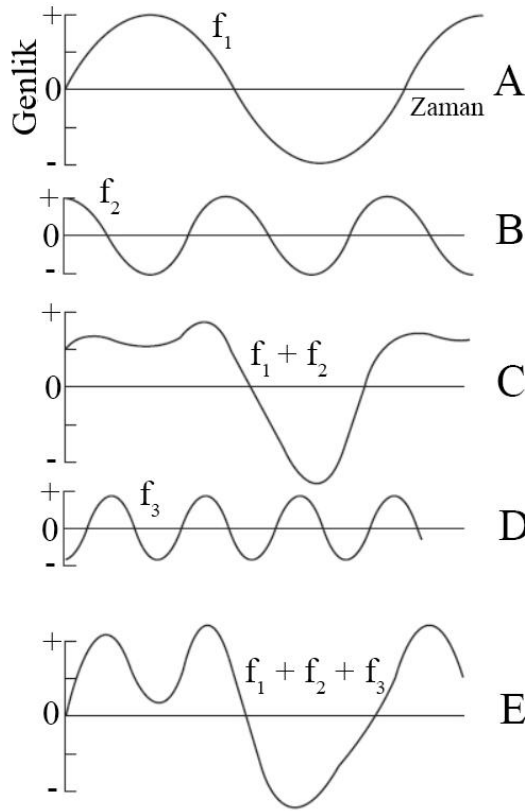
Şekil 2.9'da faz içi durum ve 90° 'lik artan gecikme durumlarındaki sinüs dalgalarının pozisyonları gösterilmektedir.

Şekil 2.10'da gösterilen karışık dalga formunu oluşturan üç sinüs dalgası da faz içi durumdadır. Sinüs dalgalarından f_1 temel sinüs dalgası, f_2 ikinci harmonik ve f_3 üçüncü harmonik olmak üzere hepsi aynı zamanda sıfır genlik noktasından başlamışlardır. Şekil 2.10'da temel harmonikten farklı fazlarda başlamaları durumunda karışık dalga formunun yapısı görülmektedir. Bu durumda ikinci harmonik 90° ileriden, üçüncü harmonik ise 90° geriden başlamışlardır. Belirli bir zamanda f_1 , f_2

ve f_3 sinüs dalgalarının pozitif ve negatif genliklerde başlayarak birleşmeleri sonucunda (E) kısmındaki dalga formu oluşmaktadır.



Şekil 2.9. Fazlar ve gecikmeler



Şekil 2.10. Temel harmonikten farklı fazlarda başlama durumu

Şekil 2.8 ve Şekil 2.10 arasındaki temel fark harmoniklerin temel harmonikten farklı fazlarda başlamalarıdır. Sonuçta Şekil 2.8 ile dalga şekli birbirinden farklı olarak ortaya çıkmaktadır. Her ne kadar dalga şekilleri birbirinden farklı olsa da insan kulağı bu değişiklikleri ayırt edecek hassasiyette değildir ve sesler birbirlerine benzer şekilde duyulurlar.

Kutupluluk ve faz birbirlerine karıştırılan kavramlardır. Faz, iki sinyalin arasındaki zaman ilişkisi olup kutupluluk ise sinyal uçlarının +/- yada -/+ bazında ilişkisidir. Müzisyenler harmonik ile kısmi harmoniği karıştırabilmektedirler. Kısmi harmonikler, temel harmoniğin frekansının tam katları olmayabilirler. Örnek olarak piyano tonları sıklıkla temel harmonik ile harmonik olmayan bir ilişki içerisindedir.

2.1.8 Oktavlar

Ses mühendisliğinde ve akustik biliminde harmonik konsepti sıklıkla kullanılmaktadır. Harmonik sesin fiziksel yapısı ile yakından ilişkilidir. Ancak müzisyenler oktav konseptini kullanmayı tercih etmektedirler. Çünkü sesin logaritmik olarak incelenmesi hem müzik ölçüleri hem de insan kulağının duyma karakteristiğine daha uygundur. Şekil 2.11'de harmonik ve oktav konseptlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir.

Temel	Harmonikler							
Frekans	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	
100 Hz	200	300	400	500	600	700	800	
	Oktavlar							
100 Hz	200	400					800	
	—Oktav—		—Oktav—		—Oktav—			

Şekil 2.11. Oktav ve harmonik konseptlerinin karşılaştırılması

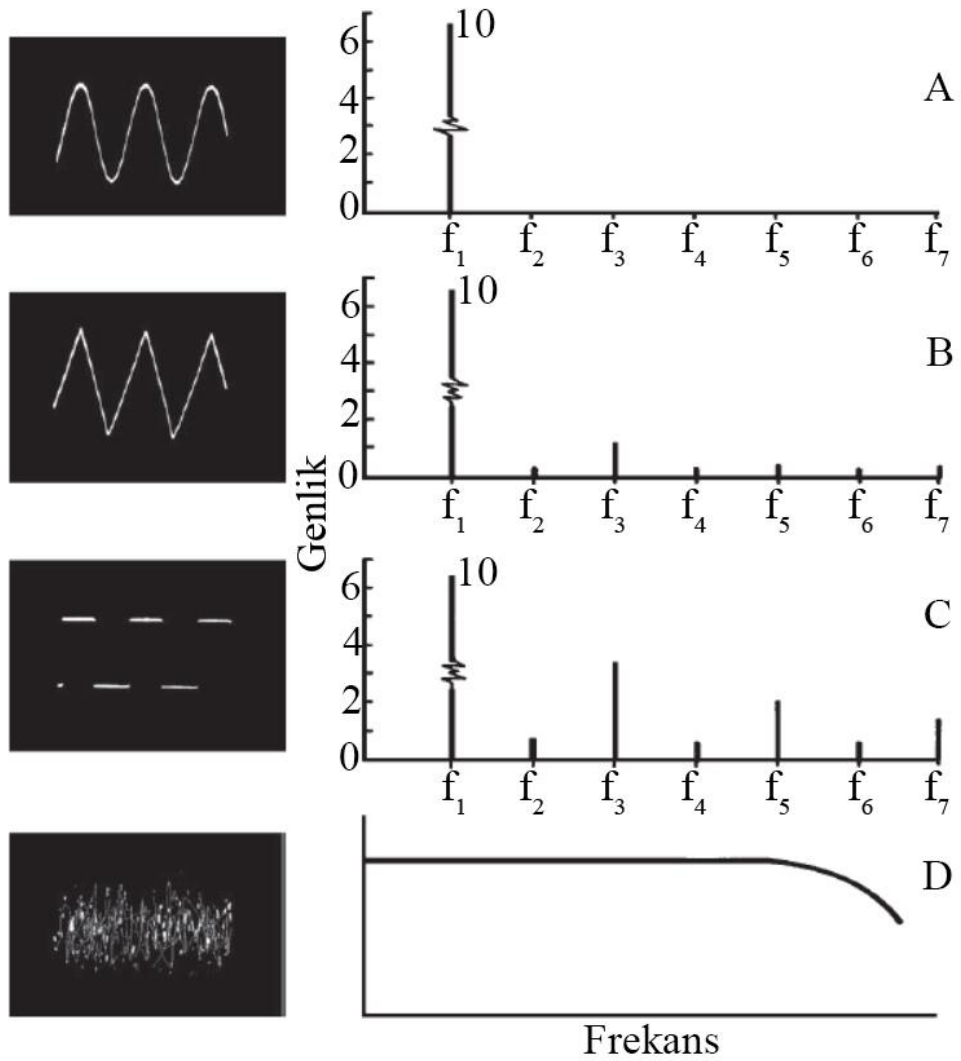
Harmonikler birbirleri ile çizgisel olarak ilişkilidir. Her bir harmonik, kendinden önce gelen harmonik ile bir tam sayı katı olarak takip eder. Bir oktavda ise iki frekans arasında 2:1 oranı bulunmaktadır. Örnek olarak bir “do” (C4) notasının

frekansı yaklaşık olarak 261 Hz'e yakındır. Kendinden sonra gelen en büyük "do" notası olan (C5)'in frekansı ise 522 Hz'dir. 100 Hz ile 200 Hz arası bir oktavdır. Aynı şekilde 200 Hz ile 400 Hz arası da bir oktavdır. İnsan kulağı tarafından 100 Hz ile 200 Hz arasındaki bir oktav, 200 Hz ile 300 Hz aralığından daha fazla algılanır. Bu durum bize insan kulağının aritmetik farklılıkları algıladığını göstermektedir. Bu durumda insan kulağının algıladığı frekansların logaritmik bir düzen içinde olduğunu göstermektedir. İnsan kulağı genel olarak 16 Hz ile 20.000 Hz arasındaki frekanslara duyarlıdır. Ancak genel olarak kabul gören duyulabilir sınırların 20 Hz ile 20.000 Hz arasında olduğudur. İnsan kulağının en duyarlı olduğu frekans ise kişilerin algı düzeylerine bağlı olarak 3.000 Hz seviyelerindedir. Normal bir konuşma 200 Hz ile 10.000 Hz frekans aralığında olurken konuşmanın anlaşılabilmesi için 1.000 Hz ile 2.500 Hz frekans aralığında olması yeterlidir (Özgüven, 2008).

2.1.9 Spektrum

Sinüs dalgaları ve harmonikler bağlamında spektrum kavramının ortaya konulması gerekmektedir. Işığın görülebilir spektrumuna eş olarak sesinde duyulabilir spektrumu bulunmaktadır. Duyulabilir spektrum, insan kulağı tarafından duyulabilecek frekanslardan oluşmaktadır. İnsan gözü ile ultraviole (UV) ışık görülememektedir. Bunun sebebi UV ışığın elektro magnetik enerjisinin gözün algılayabileceği limitten çok daha fazla olmasıdır. Aynı şekilde infrared (IR) ışık da insan gözü tarafından algılanamamaktadır. Bunun sebebi ise IR ışığın elektro magnetik enerjisinin, insan gözünün algılayabileceği limitten düşük olmasıdır. Ses dalgalarında da durum aynıdır. İnsan kulağının algılayabileceğinden daha az frekanslardaki sesler "infrasound" ve duyma sınırından çok yüksek frekansa sahip olan sesler ise "ultrasound" olarak tanımlanır.

Şekil 2.12'de çeşitli dalga formları gösterilmektedir. Bu dalga formları bir osiloskop cihazının ekranından alınmıştır. Her bir ekran görüntüsünün sağ tarafında bulunan grafiklerde sinyallerin spektrumları gösterilmiştir. Spektrum grafikleri, sinyal enerjisinin frekanslara bağlı olarak dağılımını göstermektedir. Şekil 2.12'de bulunan (D) kısmındaki grafik ise duyulabilir sınırlarda bulunan bir ses için dalga formu analizatörü (spektrum analizatörü) ile elde edilmiştir. Bu gösterimde kullanılan ses filtreleri 5 Hz genişliğindedir.



Şekil 2.12. Dalga formları ve frekanslar

Şekil 2.12'de görüleceği üzere (A) basit bir sinüs dalgasında tüm dalga enerjisi tek bir frekansta bulunmaktadır. Hiçbir sinyal jeneratörü gerçekte saf bir sinüs dalgası üretemez. Ancak diğer harmonikler çok düşük seviyelerde olduğundan şekildeki grafikte bulunmamaktadır.

Şekil 2.12'nin görülen (B) kısmındaki üçgen dalga formu 10 birim genliğinde üretilmiştir. Görüleceği üzere dalga formu analizatörü diğer f_2 'de ikinci harmonik bileşenini yakalamıştır. Bu frekansın genliği yaklaşık olarak 0,2 birim civarındadır. Üçüncü harmoniğin genliği 1,10 birim civarındadır.

Bu noktada anlaşılacağı üzere üçgen dalga formundaki bu sinyalde duyulabilir spektrumda bulunan bileşenler mevcuttur ve genlikleri ile beraber belirlenebilmektedir. Bu sayede diğer bileşenlerin genlikleri ve fazları bilinirse orijinal üçgen formlu dalga tespit edilebilir. Şekil 2.12'nin (C) kısmında gösterilen kare dalga formunda harmonikler üçgen dalga formundaki harmoniklerden daha belirgin ve genlikleri daha büyük olarak ortaya çıkmaktadır. Örnek olarak üçüncü harmonik (f_3) temelin yaklaşık olarak %34'ü civarındadır.

Sinüs, üçgen ve kare formundaki dalgaların spektrumları, harmoniklerin frekanslarındaki enerjileri açığa çıkarmaktadır. Ancak birbirleri arasındaki frekanslardaki enerjileri gösterememektedir. Tüm bu periyodik dalgalar, tam bir çevrim sonucunda (dalga boyu) tekrar etmektedirler. Şekil 2.12'nin (D) bölümündeki beyaz ses (rastgele oluşturulan ve farklı frekanslarda farklı genliklere sahip ses) 5 Hz geçiş bandındaki dalga formu analizatörü ile ölçülemez. Çünkü dalgalar çok büyüktür ve cihazın bu dalgaları okuması mümkün değildir. Bu noktada daha geniş geçiş bandına sahip cihazlar yardımı ile spektral şekli ortaya konulabilir. Bu spektrum beyaz sesin enerjisinin spektrum içindeki dağılımı hakkında bilgi verebilir.

2.2 Ses Seviyesi ve Desibel Kavramları

Desibel ses konusunda, büyüklüklerin ifade edilmesi bağlamında çok önemli bir birimdir. Ses seviyesi ise desibel olarak ifade edilmekte ve insan kulağının hassasiyet aralığını göstermektedir. Desibel kavramının anlaşılabilmesi için “fark” ve “oran” kavramlarının anlaşılması gerekmektedir. Örnek olarak, dışarıdan girişim yapabilecek diğer seslerin engellendiği bir odada (A) durumunda bir ses kaynağından 1 birim ses basıncı yayımlansın ve bunun gürültü değeri kaydedilsin. Daha sonra, gürültü iki katına çıkıncaya kadar ses basıncı arttırıldığında, okunacak ses basıncı değerinin 10 birim olacağı değerlendirilmektedir. (B) durumunda ise ses basıncı kaynağı 10.000 birime yükseltsin ve oluşacak gürültü kaydedilsin, aynı şekilde gürültü iki katına çıkacak şekilde ses basıncı kaynağı arttırılsın ve gürültünün iki katına çıktığı noktada ses basıncı değerinin 100.000 birim olacağı değerlendirilir. Bu noktada her iki durumda da ses basınçlarının oranının 10:1 olduğu görülmektedir. (A) ve (B) durumunda gürültü iki katına çıkmıştır. Ancak (A) durumunda ses basıncı 9 birim artmışken, (B) durumunda 90.000 birim artmıştır. Her iki durumda da gürültü

iki katına çıkmıştır. Bu noktada gürültüyü; basınç oranlarının, basınç farklarına kıyasla daha iyi tarif ettiği anlaşılmaktadır. Oranların; görme, duyma, titreşim ve hatta elektrik çarpması gibi hissedilebilir durumları daha iyi tarif ettiği bilinmektedir. Bu noktada, insanlar tarafından, uyaranlar arasındaki oranın, uyaranlar arasındaki farktan daha iyi algılandığı fikri ortaya çıkmaktadır.

Bu duruma örnek olarak genellikle tıp biliminde kullanılan ağrı değerlendirme yöntemleri gösterilebilir. Birçok yöntem olmasına rağmen, sayısal değerlendirme skalalarında ağrı olmadığı durum 0, dayanılmaz ağrı durumu ise 10 rakamı ile gösterilmektedir. Hasta içinde bulunduğu ağrı durumunu ağrı bulunmayan duruma kıyasla oransal olarak söylemektedir (Aslan, 2002).

Güç, yoğunluk, ses basıncı, voltaj ve benzeri büyüklükler, kendileri ile ilgili referans bir büyüklük ile oranlandıklarında birimsiz hale gelirler. Örnek olarak insan kulağının duyma sınırı olan $20 \mu\text{Pa}$, ses basıncı için referans büyüklüktür. Oranların birimsiz olması önemlidir. Zira logaritma sadece birimsiz sayılar için uygulanabilir.

Duyma sınırında çok düşük seviyedeki bir sesin yoğunluğu yaklaşık olarak 10^{-12} W/m^2 mertebesindedir. Acı eşiğindeki birçok yüksek sesli bir sesin yoğunluğu ise yaklaşık olarak 10 W/m^2 mertebesindedir. Bu noktada akustik olarak ses yoğunluğunun belirli bir doğrultuda akustik gücün birim alana oranı olarak tarif edildiği bilinmelidir. Duyma sınırındaki bir ses ile ağrı eşiğindeki bir ses arasındaki ilişki $1:10^{13}$ mertebesindedir. Ayrıca duyma sınırı olan 10^{-12} W/m^2 değerini referans ses yoğunluğu değeri olarak kabul edip (I_{ref}), diğer ses yoğunluklarını (I) oranlamak (I/I_{ref}) kullanışlıdır. Örnek olarak ses yoğunluğu 10^{-9} W/m^2 olan bir sesin referans değerden 1.000 kat daha yoğun olduğu kolayca anlaşılabilir.

Logaritma özellikle ses mühendisliğinde çok kullanılan bir kavramdır. Çünkü logaritma kullanılarak insan kulağı tarafından duyulan seslerin birbirleri ile daha kolay kıyaslanabilir olması ve büyük sayıların açıklanması daha da hızlanmaktadır. Ayrıca logaritma ile ses seviyelerinin “desibel” olarak tarif edilebilmesi kolaylaşmaktadır. Bu noktada ses seviyeleri kavramının oranların logaritması olduğunu söylemekte fayda bulunmaktadır.

2.2.1 Desibel

Ses yoğunluklarının oransal olarak gösterilmesi son derece pratik bir yoldur. Ayrıca oranların logaritmasının alınmasının da pratiklik sağladığı açıktır. Bu durumda herhangi bir ses yoğunluğu (I), referans ses yoğunluğuna göre aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$\log_{10} \frac{I}{I_{ref}} \quad 2.4$$

Eşitlik 2.4'deki ifade bir oran olmasına rağmen, “bel” ifadesi ile birimlendirilebilir. Ancak “bel” birimi ile isimlendirilen değerler çok küçük olabilmektedir. Değer aralığının daha kolay kullanılabilmesi için “desibel” kavramı geliştirilmiştir. Desibel ile bel arasında 10:1 oranı bulunmaktadır. Desibel (dB) iki yoğunluk veya güç değerinin oranlarının 10 tabanında logaritmasının 10 katına eşittir.

$$IL \text{ (dB)} = 10 * \log_{10} \frac{I}{I_{ref}} \quad 2.5$$

Eşitlik 2.5'deki (IL) ifadesi, ses yoğunluğu seviyesi (dB) olarak adlandırılır ve ses yoğunluğu (W/m^2) kavramından farklıdır. Desibel kullanmak hem rakamsal olarak bir kolaylık hem de insan kulağının duyma ve hissetme fizyolojisine daha yaklaşma sağlamaktadır. Ses gücü seviyesi Eşitlik 2.6'da ifade edilmektedir.

$$PWL \text{ (dB)} = 10 * \log_{10} \frac{W}{W_{ref}} \quad 2.6$$

Burada, PWL; ses gücü seviyesi (dB), W ses gücü (watt) ve W_{ref} referans güç (10^{-12} watt) olarak tanımlanmaktadır. Ses yoğunluğunun ölçümü zor olmakla birlikte ses basıncının ölçümü daha basittir. Bu sebeple ses basıncı seviyesi (SPL) sıklıkla kullanılmaktadır. Ses basıncı seviyesi (SPL), ses yoğunluğu seviyesinde (IL) olduğu gibi logaritmik bir değerdir. SPL değeri IL değerine yaklaşık olarak eşittir. Bu sebeple ses seviyesi olarak söz edilebilmektedir. Akustik yoğunluk ya da güç akustik basıncın karelerinin oranıdır. Bu durum kullanılan denklemler belirli ölçüde değiştirir.

Eşitlik 2.7'deki referans basınç değeri 20 µPa'dır. Denklemdaki SPL değeri ses basınç seviyesini (dB), p akustik basınç değerini (µPa) ifade etmektedir. Eşitlik 2.5 ve Eşitlik 2.6 akustik konusunda genel olarak yoğunluk, güç tariflenmesinde kullanılırken, Eşitlik 2.7 hava parçacıklarının hızları ve basınç değeri tariflenmesinde kullanılmaktadır.

$$SPL = 10 * \log_{10} \frac{p^2}{p_{ref}^2} = 20 * \log_{10} \frac{p}{p_{ref}} \quad 2.7$$

2.2.2 Referans seviyeler

Referans seviyeler ölçümlerin temelini oluşturması nedeni ile geniş çapta kullanılmaktadır. Örnek olarak ses seviyesi ölçer bir cihaz ses basınç seviyesini ölçmektedir. Eğer cihaz ölçtüğü ses basınç seviyesi değerini gösterseydi çok basamaklı ve küçük sayıları göstermek zorundaydı. Ancak oran ve logaritma kullanılması, sesin tariflenmesinde, hem insan kulağı tarafından duyulan ve hissedilen değere yaklaşılmasını hem de sonuçların karşılaştırılabilir ve kullanımının nispeten daha kolay olmasını sağlamaktadır. Bu kapsamda sesin tariflenmesinde ve sayılara çevrilmesinde fayda sağlamaktadır.

Temel olarak ses seviyesi ölçer Eşitlik 2.7'deki ses basıncı seviyesini, ses basınç seviyesi (SPL) cinsinden tarif etmektedir. Referans ses basınç seviyesi standartlaşmıştır ve karşılaştırma yapmakta kullanılmaktadır. Çeşitli referans basınç değerleri yıllar içinde kullanıldıysa da hava içerisindeki ses için 20 µPa standart referans değer olarak kullanılmaktadır.

2.3 Akustik Güç ve Ağırlıklandırma

Akustik gücün (watt) fazla olması çok yüksek ses üretileceği anlamına gelmemektedir. 100 watt değerinde amplifikatör düşük verimli bir hoparlör ile birlikte kullanıldığı düşünüldüğünde yüksek ses veremeyecektir. Tipik bir hoparlör 1 watt değerinde akustik güce sahiptir. Amplifikatörün gücünü 2 katına çıkarmak ses gücü seviyesini yaklaşık olarak 3 dB arttıracaktır. Bu kapsamda 1.000 watt

değerindeki bir amplifikatörün gücünü 2.000 watt değerine çıkarmak sadece 3 dB'lik bir kazanç sağlayacaktır. Bazı ses kaynaklarının ses basınçları ve ses basınç seviyeleri Çizelge 2.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. Bazı kaynakların ses basınç seviyeleri ve ses basınçları

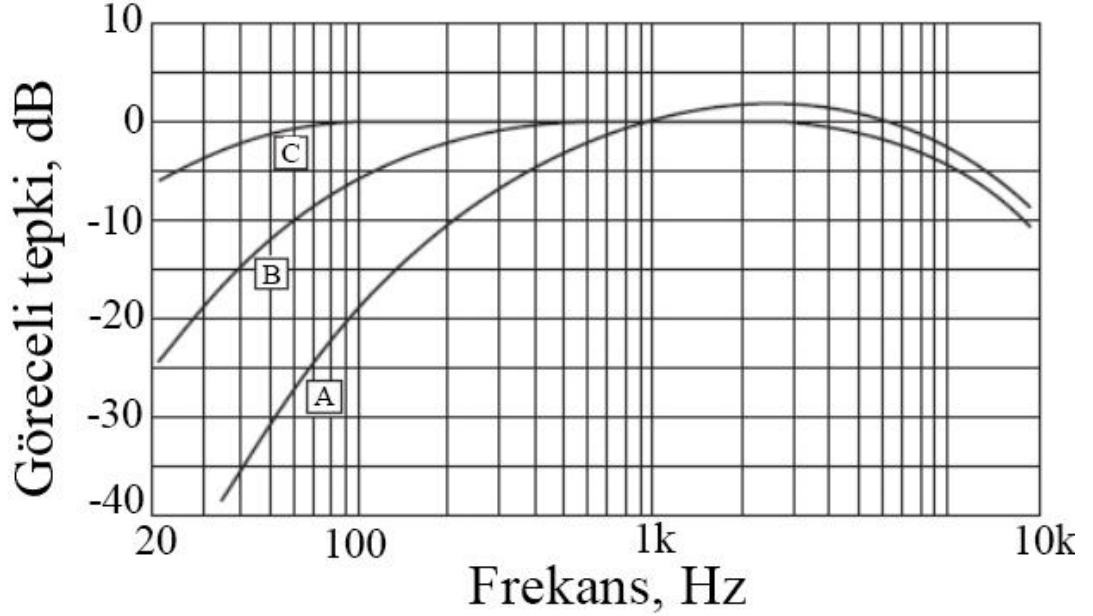
Ses Kaynağı	Ses Basıncı (Pa)	Ses Basınç Seviyesi (dBA)
Satürn roketi	100.000	194
Jet motoru	2.000	160
Pervaneli uçak	200	140
Perçin tabancası	20	120
Kamyon	2	100
Yoğun trafik	0,2	80
Konuşma	0,02	60
Sessiz ev	0,002	40
Hışırtı	0,0002	20
Duyuma sınırı	0,00002	0

Çizelge 2.2'de görüleceği üzere ses basınç seviyeleri arasında büyük farklar bulunmaktadır. Ancak bu büyük farklılıklar ses seviyesi kullanılarak daha anlaşılabilir şekilde ifade edilebilmektedir. Satürn roketinin oluşturduğu 194 dB değerinde ses basınç seviyesi atmosfer basıncında küçük dalgalanmalara sebep olur. Ayrıca 194 dB değerindeki ses basınç seviyesi atmosfer basıncına yaklaşmakla beraber pik düzeyde bir ses basıncı, atmosferik basıncın yaklaşık olarak 1,5 katına kadar çıkabilir.

Yukarıda anlatıldığı üzere seviye ifadesi güç benzeri büyüklüklerin oranlarının logaritmasıdır. Seviyeler başka büyüklüklerin kuvveti şeklinde hesaplandığı zaman kesin olarak belirlenebilir. Eşitlik 2.7'de görüldüğü üzere ses basıncı seviyesi, ses basınçlarının karelerinin oranıdır.

Ses basınç seviyelerinin ölçülmesinde kullanılan cihaza ses seviyesi ölçer denilmektedir. Desibel cinsinden tespit edilen ses basıncı için 20µPa değerindeki standart referans basınç değeri kullanılır. İnsan işitme duyusu ses bandların tümü için eşit hassasiyette değildir. Örnek olarak insan kulağı düşük ve yüksek frekanslarda hassasiyetini kaybetmektedir. Buna rağmen insan kulağı dinleme seviyelerinde daha

hassastır. Bu sebeple insan kulağını taklit etmek için ses seviyesi ölçerlerde genellikle A, B ve C olarak adlandırılan ağırlıklandırmalar kullanılmaktadır. Bu ağırlıklandırmalar frekanslara bağlı olarak Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Ağırlıklandırmaların frekanslara göre değişimi

Şekil 2.13'te görüleceği üzere düşük ve yüksek frekanslarda, ölçülen ses basınçlarından azaltmalar yapılmaktadır. A ağırlıklandırmada düşük frekanslarda yaklaşık olarak -40 dB azaltım yapılacağı görülmektedir. Hangi ağırlıklandırmanın kullanılacağı, ölçülen sesin genel seviyesine bağlı olarak seçilebilir.

Örnek olarak ses basınç seviyesi 20 ila 55 dB arasında A ağırlıklandırma, 55 ila 85 dB arasında B ağırlıklandırma ve 85 ile 140 dB arasında ise C ağırlıklandırma kullanılabilir. Ancak B ve C ağırlıklandırma insan kulağı tepkilerine eş sonuçlar vermediğinden genel olarak A ağırlıklandırma kullanılır. A ağırlıklandırma kullanılmış bir ses basınç seviyesi dBA olarak gösterilir. Genel itibari ile A ağırlıklandırma uygulanmış bir ses basıncı seviyesi (dBA), ağırlıklandırma uygulanmamış ses basıncı seviyesinden (dB) düşük olacaktır. Yaklaşık olarak 1 kHz frekansında dBA ve dB birbirleri ile paralellik göstermektedir.

Basit frekans ağırlıklandırma kesin olarak gürültünün seviyesi hakkında bilgi vermemekle beraber gürültünün karşılaştırılmasında kullanılabilir. Bu durumlarda frekans analizi yapılması faydalı olacaktır.

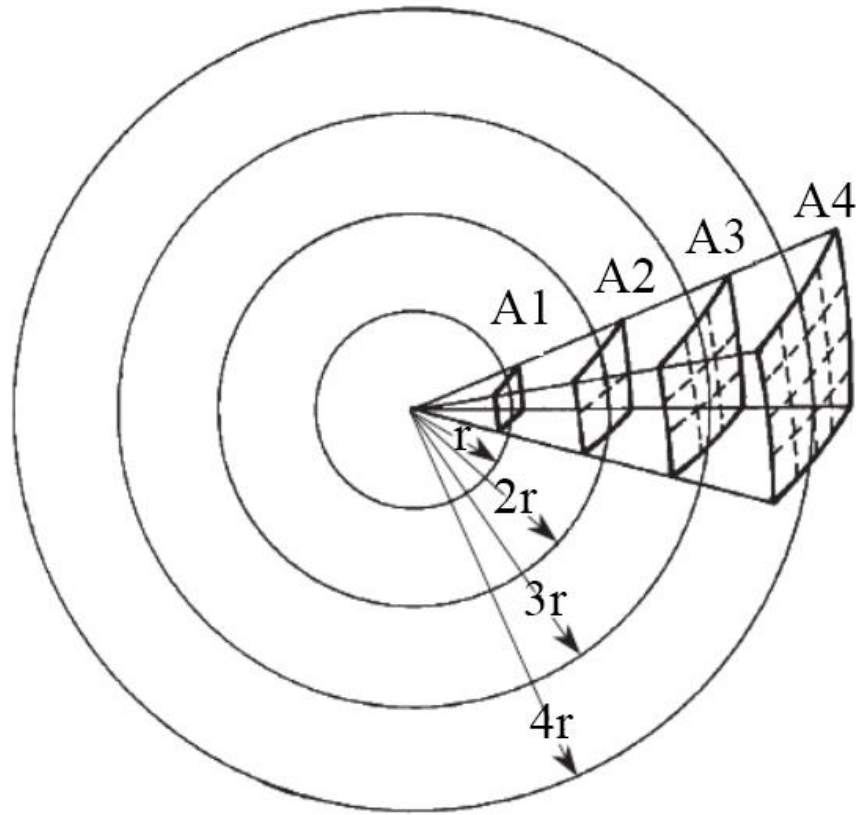
2.4 Açık Alanda Sesin Davranışı

Akustik problemler çeşitli yapılarla (binalar, odalar) ve araçlarla (otomobil, uçak) ilişkilidir. Bu yapılar ve araçlar fiziksel problemler olarak sınıflandırılmaktadır. Akustik problemler fiziksel duyular ile tanımlamak, ifade etmek kapsamında çok karışıktır. Örnek olarak bir ses açık alanda binlerce yansıma yapmış bileşenden oluşmaktadır. Bir diğer örnek ise sıcaklık radyanının sesi, önceden tahmin edilemeyecek şekilde etkilemesidir. Ancak pratik olarak sesin açık alanda bir yol şeklinde yayıldığı kabulü ile problemlerin pratik şekilde çözümlenmesine çalışılmaktadır. Bu sayede ses dalgalarının doğasının anlaşılması daha kolay olmakta ve anlaşılma ile beraber daha karışık problemlerin çözümüne erişmek mümkün olmaktadır.

Ses açık alanda düz bir çizgi halinde hareket ettiği ve engellenmediği sürece hareketini sürdürdüğü kabul edilir. Açık alandaki ses yansımaz, soğurulmaz, esnemez, kırılmaz, saçılmaz, dağılmaz ve rezonans etki göstermez. Ancak pratik olarak gerçek hayatta ses hareketi sırasında bu etkilerden hepsine maruz kalır. Bir açık alan yansımaz bir odaya benzer şekilde düşünülebilir. Yansımaz odalar (anekoik) özel olarak tasarlanmış odalardır. Bu odaların iç yüzeyleri sesi absorbe edebilecek malzemeler ile kaplanmış durumdadır. Genel olarak açık bir alan teorik olarak kullanılan bir kavramdır ve sesin hiçbir girişime maruz kalmadan hareket ettiği durumu tarif için kullanılır. Ancak açık olan tarifî uzay boşluğu kavramı ile karıştırılmamalıdır. Çünkü ses uzay boşluğu içinde hareket edemez. Bu durumda açık alan tarifî ses hareketlerinin olabileceği, hava ile dolu olan ve sesin hiçbir dış etken ile etkileşime geçmediği ortam olarak tanımlanabilir. Tarif edilen bu çevre içinde sesin bir kaynaktan nasıl yayıldığı ve yoğunluğunun kaynaktan uzaklaştıkça nasıl değiştiği incelenebilir.

Şekil 2.14'de görüleceği üzere ses sabit bir güçteki nokta bir kaynaktan küresel olarak yayılmaktadır. Nokta kaynak tanımı boyutları, incelenmesi düşünülen konuya

göre küçük olan kaynaklar için kullanılmaktadır. Örnek vermek gerekirse bir klima dış ünitesi birkaç blokluk bina dizisi içinde incelendiğinde nokta kaynak olarak tanımlanabilmektedir. Ancak aynı klima dış ünitesi birbirinden çok farklı mekanik ve ses oluşumuna sebep olan parçadan oluşmaktadır. Bu noktada klima ünitesi bazında incelenecek olursa pervane, kompresör, vanalar gibi her bir ekipman nokta kaynak olarak ele alınabilir. Bir diğer ifade ile kaynak, ölçüm yapılan mesafeden daha küçük boyutlara sahipse nokta kaynak olarak tanımlanır. Örnek olarak 1 metre boyundaki bir kaynak 5 metre veya daha fazla bir mesafeden ölçülüyorsa nokta kaynak olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 2.14. Nokta kaynaktan sesin yayılımı

Açık alanda bir nokta kaynaktan ses küresel olarak yayılır ve her bir yöne üniform olarak hareket eder. Bu hareket esnasında ses yoğunluğu kaynaktan uzaklaştıkça düşer. Şekil 2.14’de görülen sesin yoğunluğu homojendir. Sesin yoğunluğu ses gücünün birim alana bölünmesi ile elde edilmekte olup her bir daire bir küreye karşılık gelmektedir. Ayrıca bu kürelerin yarıçapları birin katları şeklinde artmaktadır. Ses gücünün tamamı nokta kaynaktan r mesafesindeki $A1$ alanından

geçerek sırası ile 2r mesafedeki A2, 3r mesafedeki A3 ve 4r mesafedeki A4 alanından geçmektedir. Yarıçap mesafesi arttıkça, aynı ses gücü daha büyük alanlardan geçmektedir. Bu durumda sesin r mesafesinin katları boyunca yol alması durumunda yoğunluğu azalmaktadır. Bu azalma ses enerjinin geometrik olarak yayılmasıdır ve kayıp kelimesi ile ifade edilmesi doğru değildir. Nokta kaynaktan yayılan ses bir kürenin merkezinden dışına doğru hareket etmektedir. Bir kürenin alanı Eşitlik 2.8'de ifade edilmektedir. Eşitlikten görüleceği üzere kürenin alanı, kürenin yarıçapının karesi ile doğru orantılıdır. Bu durumda ses yoğunluğunun kürenin yarıçapının karesi ile ters orantılı olduğu anlaşılmaktadır.

$$Alan = 4 * \pi * r^2 \quad 2.8$$

Eşitlik 2.9'da I birim alandaki ses yoğunluğu, W kaynağın ses gücü ve r ise kaynaktan olan mesafe (yarıçap) olarak tanımlanmıştır. Bu eşitlikte W ve 4π sabit sayılar olup değişken r yani yarıçaptır. Yarıçapın bir birimden iki birime çıkması yoğunluğu $\frac{1}{4}$ oranında azaltmaktadır. Tersinde yarıçapın $2r$ mesafeden r mesafesine düşmesi durumunda yoğunluk 4 kat artmaktadır.

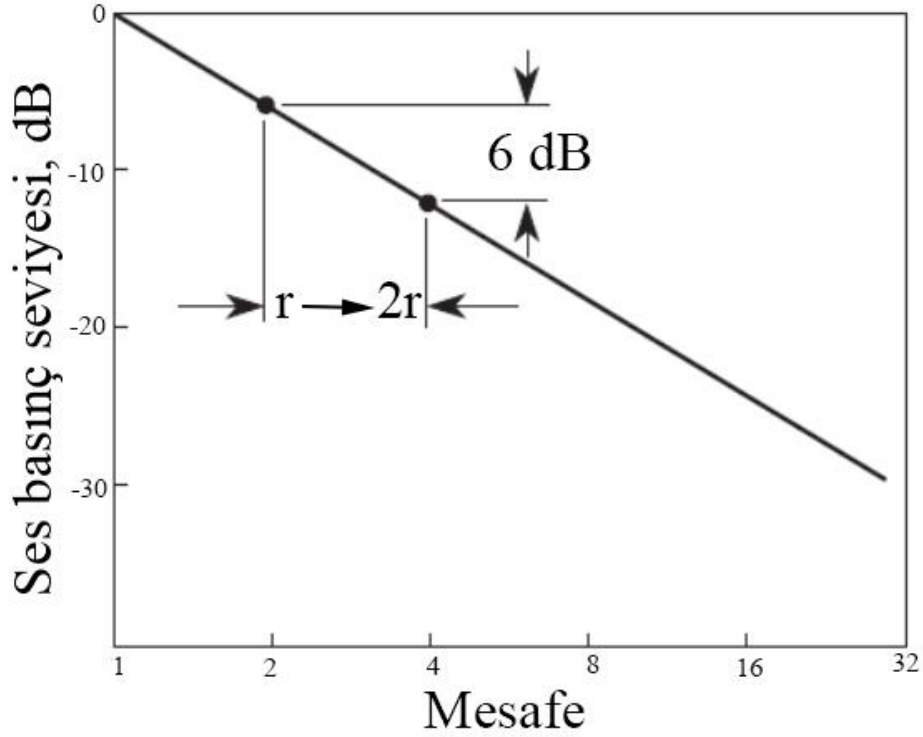
$$I = \frac{W}{4 * \pi * r^2} \quad 2.9$$

Ses yoğunluğunun ölçülmesi oldukça zordur. Bununla beraber ses basıncı nispeten daha kolay ölçülebilmektedir. Çünkü ses yoğunluğu, ses basıncının karesi ile orantılıdır. Ses yoğunluğundaki ters kare kuralı, ses basıncı için ters mesafe kuralına dönüşür. Diğer bir ifade ile ses basıncı mesafe ile ters orantılıdır. Bu durum Eşitlik 2.10'da gösterilmektedir. Bu eşitlikte p ses basıncını, k bir sabit sayısı ve r ise kaynaktan olan mesafeyi (yarıçapı) göstermektedir. Bu durumda ses kaynağından olan mesafe her iki katına çıktığından ses basıncı yarıya iner.

$$p = \frac{k}{r} \quad 2.10$$

Şekil 2.15'de mesafeye göre çizilmiş, desibel birimindeki görece ses basınç seviyesi değişiminin grafiği gösterilmektedir. Şekilde ters orantı kuralı gösterilmekte olup

mesafenin iki katına çıktığı durumda ses basınç seviyesinin yaklaşık olarak 6 dB düştüğü gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Nokta kaynaktan sesin yayılımı

Ses basınç seviyesinin r_1 mesafedeyken L_1 olduğu, mesafenin r_2 değerine çıktığı durumdaki ses basıncı değerinin L_2 olduğu kabulüne göre kullanılan formülasyon Eşitlik 2.11’de gösterilmiştir. Bu eşitlik sadece açık alanlar için geçerlidir.

$$L_2 = L_1 - 20 \log \frac{r_2}{r_1} \quad 2.11$$

Gerçek şartlar altında yapılan denemeler, ses basıncının mesafe ile değişiminin anlaşılmasında yardımcı olmaktadır. Örnek olarak bir şarkıcı kendisinden 1,5 metre uzaklıktaki bir mikrofonu kullanırken oda içindeki pik değer, ses ekipmanlarının sinyal seviyelerini görmeye yarayan VU ölçek tarafından ölçüldüğünde sinyal şiddeti olarak +6dB değeri görülecektir. Mikrofon 3 metre mesafeye taşındığından VU ölçek yaklaşık olarak 6 dB daha düşük bir değer gösterecektir. Çünkü örnekte verilen mesafelerin değeri gereği 1,5 ile 3 metre arasındaki uzaklık farkı engeller ve benzeri bakımından az olduğundan yaklaşık olarak serbest alan özelliği göstermektedir.

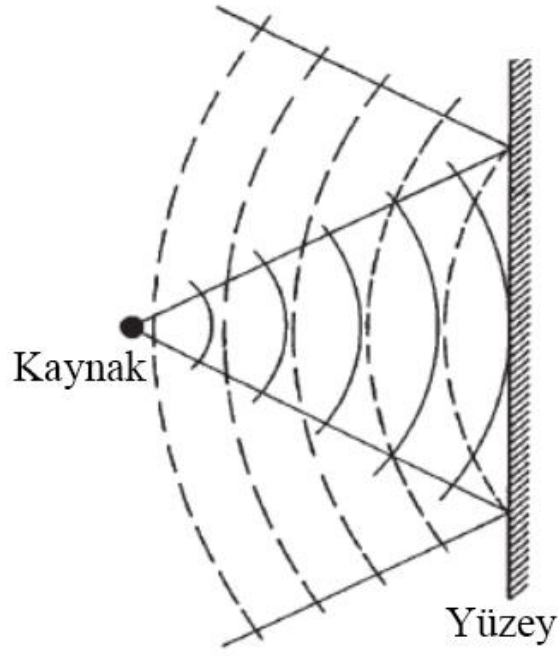
Ancak aynı durum mesafenin 100 metreden 200 metreye çıktığı durumda sağlanamamaktadır. Çünkü mesafeler arasındaki fark çok büyüktür ve aradaki mesafe serbest alan (açık alan) özelliği göstermemekte ve çok sayıda girişim oluşmasına olanak sağlayacak engel ve benzeri etki bulunabilecektir.

Bu noktada önemli bir ayrıntının açıklanması önem arz etmektedir. Trafik gürültüsü gibi nokta kaynak olmayan ses kaynaklarında modelleme yapılırken çizgi kaynaklar birçok nokta kaynaktan oluşmuş şekilde düşünülür. Bu durumda sesin küresel yayılmak yerine silindirik şekilde yayıldığı kabul edilir. Mesafenin iki katına çıktığı durumda yoğunluk yarıya düşmektedir. Örnek vermek gerekirse mesafenin her ikiye katlanması, seste 3dB'lik bir azalma olmasına sebebiyet vermektedir.

2.4.1 Yansıma

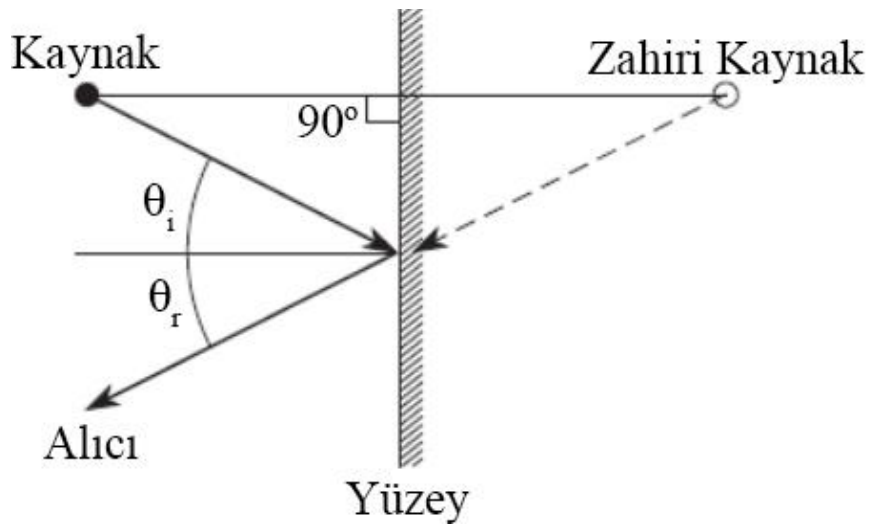
Açık alandaki noktasal bir ses kaynağı her yöne kaynağın merkezinden dairesel olarak yayılmaktadır. Kaynaktan çıkan ses belirli bir doğrultuda hareket eder ve tekrar kaynağa geri dönemez. Ancak aynı noktasal ses kaynağının bir oda içerisinde olduğu düşünülürse, kaynaktan çıkan ses odadaki yüzeylere çarpacak ve yansıyacaktır. Ses kaynaktan çıktıktan sonra enerjisi bitene kadar defalarca yansır. Açık alandaki davranışından farklı olarak ses, birçok yansımış sesin oluşturduğu bir yapı sergiler. Yansımaların iletilmesinde engelin şekli, büyüklüğü ve yansıtıcı yüzeyin kompozisyonu önemli bileşenlerdir. Yansımalar engelin ses karakteristiğinin belirlenmesinde yardımcı olur.

Düz bir yüzeyden gerçekleşen yansımanın esası basittir. Şekil 2.16'da noktasal bir kaynaktan yayılan ses dalgalarının sert bir düzlemden yansıması görülmektedir. Küresel olarak yayılan ses dalgaları duvara çarpar ve yansıyarak kaynağa geri döner. Bu durumda ses, ışığın aynadan yansıması gibi bir davranış gösterdiği için bu tür yansımalara aynadan yansıma (Yansıtıcı Yüzeyden Yansıma) denilmektedir.



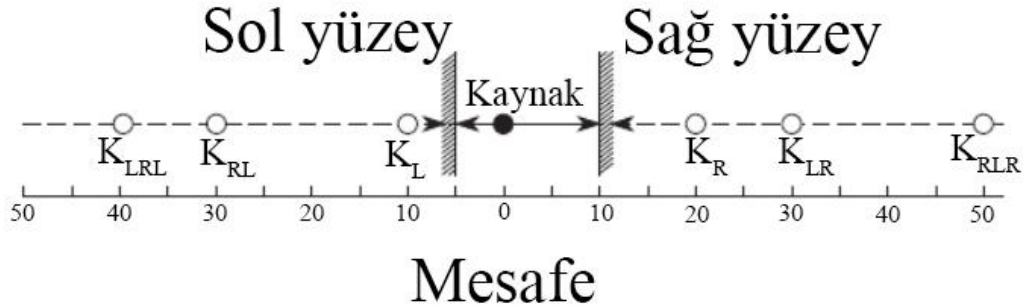
Şekil 2.16. Noktasal bir kaynaktan gelen sesin düz yüzeyde yansıması

Sesin ışığınkine benzer kuralları vardır, düzleme geliş açısı yansıma açısına eşittir. Şekil 2.17’de geliş açısı θ_i yansıma açısı θ_r olarak gösterilmektedir. Yansıyan ses tıpkı aynadan yansıyan görüntü gibi, yansıtıcı düzlemin arkasında zahiri bir ses kaynağı varmış gibi davranır. Bu sanal kaynak, gerçek kaynağın yansıtıcı yüzeye olan mesafesi ile aynı mesafededir.



Şekil 2.17. Yansıma ve zahiri kaynak konumları

Ses, birden fazla yüzeye çarptığında çoklu yansıma meydana gelir. Bu durumda ilk yansımadan oluşan sanal kaynağın diğer yüzeyden yansması ile ikinci bir sanal kaynak oluşacaktır. Bu durum yüzey ve sanal kaynaklar arasında devam edecektir. Şekil 2.18’de gösterildiği üzere paralel iki yüzey arasında bulunan bir nokta kaynaktan gelen yönlü ses ilk önce sol duvara çarpacak ve sol duvarın arkasında K_L ile gösterilen bir sanal kaynak oluşacaktır (birincil yansıma). Benzer bir şekilde K_R ile gösterilen sanal kaynak oluşacaktır. Ses paralel iki duvar arasında yansımaya devam edecektir. Ses sol duvara, sağ duvara ve tekrar sol duvara çarpacak K_{LRL} şeklinde gösterilen sanal kaynak olacak şekilde bir davranış sergileyecektir (üçüncü yansıma). Bu örnekte iki duvar arasında 15 birim mesafe olduğu görülmektedir. Birincil yansımadan kaynaklanan sanal kaynakların arasındaki mesafe 30 birim; ikinci yansımadan oluşan sanal kaynakların arasındaki mesafe 60 birim; üçüncü yansımadan oluşan sanal kaynakların arasındaki mesafe 90 birim olacaktır. Bu modelleme tekniği kullanıldığında duvarlar yok sayılarak sesin birçok sanal kaynaktan mesafelerine bağlı olarak değişik zamanlarda geldiği varsayımında bulunulur.



Şekil 2.18. Paralel yüzeylerde yansıma

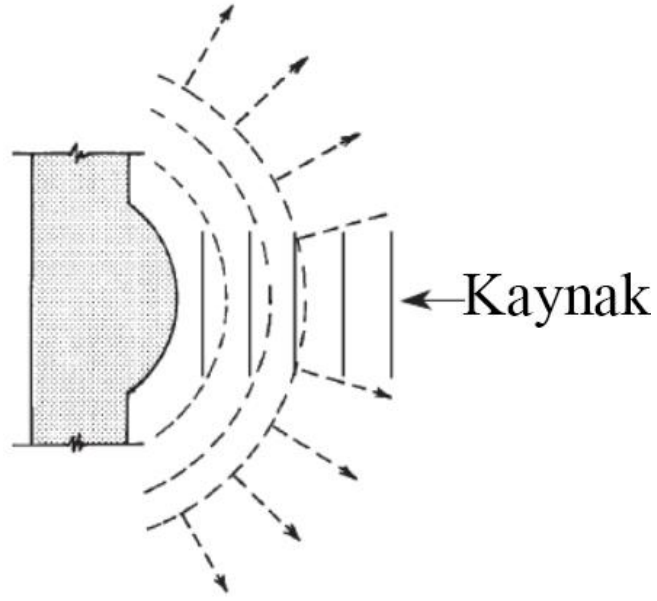
Çoklu yansımaların dikdörtgen prizma geometrisi bulunan bir odada meydana geldiği düşünülürse odanın 6 adet yüzeyinde de sanal kaynak oluşacağı ve bu durumda kaynaktan çıkan ses enerjisinin bu sanal kaynaklardan da alıcıya döneceği ve kompleks bir ses alanı oluşacağı aşikardır. Belirli bir noktadaki toplam ses yoğunluğunun hesaplanmasında tüm bu sanal kaynakların etkileri de dikkate alınmalıdır.

Bu kapsamda ses modellemeleri yapılırken yansıma sayıları, sistem kaynakları ve istenilen hassasiyet gibi unsurlar dikkate alınarak belirlenmeli ve optimizasyon yapılmalıdır. Yapılmaması durumunda zaman ve maliyet ihtiyacı artmaktadır. Genel olarak çevresel gürültü modellerinde 2 yansıma olacak şekilde modelin hazırlanması yönünde teamüller bulunmakta olup yansıma sayılarının belirlenmesi hakkında literatürde kesin şart bulunmamaktadır. Tez çalışması kapsamında da sesin 2 adet yansıma yapılacağı şeklinde model optimize edilmiştir.

Konveks ve konkav yüzeylerde yansıma konusu da sesin yüzeylerde yansıması noktasında önem arz etmektedir. Günümüzde gelişen mimari kavramlar ve mimari dizaynların çeşitlilik göstermesi ile meskûn mahallerde konveks ve konkav dış yüzeye sahip binaların sayılarında artış görülmektedir. Bu kapsamda geniş alanlarda olsa dahi bina geometrilerinin hazırlanacak modellerde dikkate alınması önemlidir. Sesin konveks ve konkav yüzeylerde göstereceği yansıma karakteristiğinin anlaşılması faydalı olacaktır.

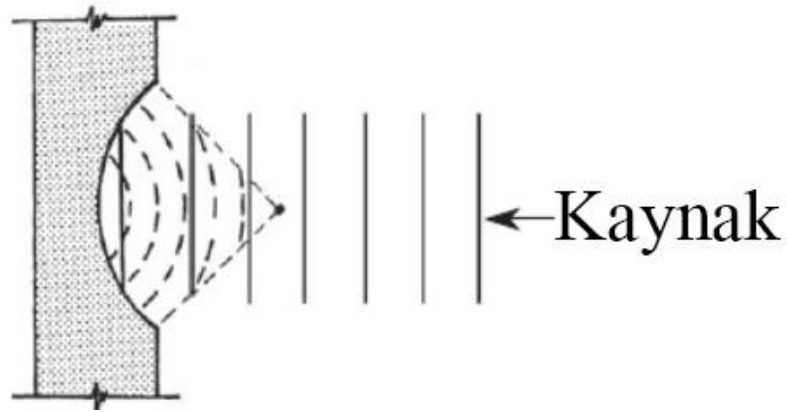
Sesin basitleştirilmiş olarak ışın görünümünde olduğunu düşünülebilir. Her ışının küresel olarak hareket ettiği ve küresel dağılım sırasında dalga yüzeyinin genişlemesi sebebiyle yoğunluğun, bu genişleme ile ters orantılı olarak değişim gösterdiği kuralı unutulmamalıdır. Noktasal kaynaktan yayılan küresel dalga yüzeyi büyük uzaklıklarda r yarıçapının büyümesi nedeni ile düzlem şeklinde değerlendirilebilmektedir. Bu sebeple yüzeylere çarpan sesin düzlemsel olduğu kabulü yapılabilir.

Şekil 2.19'da görüldüğü üzere konveks bir yüzeye düzlem ses dalgasının çarpması neticesinde ses enerjisi birçok yöne dağılmaktadır. Kapalı olan akustiğinde bu durum çeşitli malzeme tipleri ve farklı geometrik yaklaşımlar kullanılmak suretiyle sesin dağılması azaltılabilmekte veya artırılabilir. Ancak çevre akustik modellerinde ses kaynaklarından gelen ses dalgaları çeşitli yönlerde dağılmakta ve beklenmedik noktalarda maruziyeti artırabilmektedir. Bu noktada modelleme çevresini hassas şekilde modellemek önem arz etmektedir.



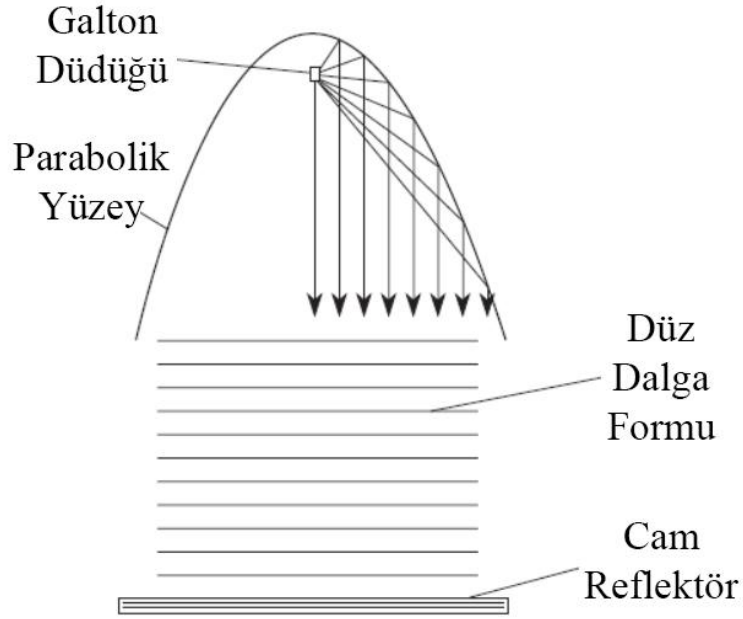
Şekil 2.19. Düzlem ses dalgasının konveks yüzeyindeki davranışı

Bir diğer yansıma konsepti de konkav yüzeylerde meydana gelen yansıma durumudur. Şekil 2.20’de gösterildiği gibi düzlemsel olarak konkav bir yüzeye çarpan ses dalgalarında bir noktada odaklanma eğilimi görülür. Odaklanan sesin hassasiyeti konkav yüzeyin göreceli büyüklüğü ve şekli ile belirlenir. Kapalı alan akustiğinde küresel içbükey yüzeylerin kullanımları yaygındır. Genel olarak bir mikrofonu odak noktasına yerleştirerek çok yönlü hale getirilmesi için kullanılır. Bunlar çoğunlukla doğada spor faaliyetlerinin ve hayvan seslerinin kaydedilmesinde kullanılan mikrofonlardır. Bu tip konkav yansıtıcı yüzeylerin etkinliği sesin dalga boyu ile yansıtıcının boyutuna bağlıdır.



Şekil 2.20. Düzlem ses dalgasının konkav yüzeyde davranışı

Parabolik yüzelerde yansıma genellikle kapalı alan akustiği konusunda karşılaşılmaktadır. Parabol denkleminin ($y=x^2$) faydalanarak oluşturulmuş bir parabolün sesi tam olarak bir noktaya toplama özelliği vardır. Şekil 2.21'deki gibi çok derin bir parabol daha az derin bir parabole göre çok daha iyi akustik özellikler gösterir. Ayrıca yönsel özellikler dalga boyu açısından açıklığın boyutuna bağlıdır.



Şekil 2.21. Parabolik yüzeyde ses dalgalarının davranışı

Parabolik bir yüzey sesi bir noktada odaklayabildiği gibi, odaklama noktasına ses kaynağı yerleştirildiğinde sesi düzlemsel olarak yansıtır. Galton düdüğü (Ultrasonic Galton Whistle) hem kaynak olarak çalışmakta hem de parabolik açıklığın karşısına yerleştirilen cam yüzeyden yansıyan değeri tespit edebilmektedir.

Çevre akustiği ile doğrudan ilgili olmamasına rağmen yansıma konusunun önemini vurgulamak için bazı konuların açıklanması gerekmektedir. Bu hususlardan bir tanesi fısıltı galerileridir. Londra'daki Aziz Paul Katedrali, Vatikan'daki Aziz Peter Bazilikası, Pekin'deki Cennet Tapınağı ve benzeri yapılarda fısıltı galerileri bulunmaktadır. Bu tip yapılarda silindirik iç yüzeylerin yansıtma özellikleri kullanılarak çok büyük hacimlerde sesin dağılımı sağlanmıştır. Kaynaktan yüzeye teğet olarak yönlendirilmiş bir fısıltı alıcı tarafından rahatlıkla duyulabilmektedir. Bu durum parabolik şekilli duvarların yansıtma özelliklerini

destekler nitelikte bir durumdur. Bunun anlamı fisiltının yukarı yönlendirilmiş bileşenlerinin aşağıya yansıma eğiliminde olduğudur. Her ne kadar bu şekilde kullanımları olsa da mimari bakımdan çok fazla istenen bir durum değildir. Bazı özel kullanımlar dışında, bu tür silindir bölümler, içbükey yüzeyler, küreler, paraboloidler ve elipsoidler akustik zorluklardan dolayı kullanılmamaktadır.

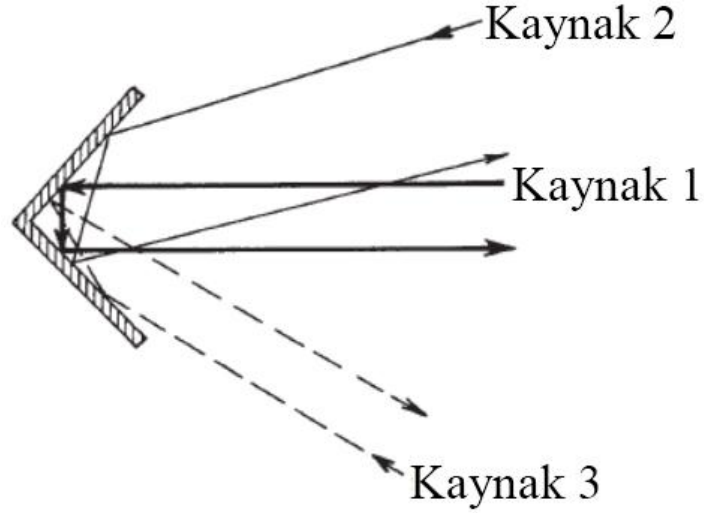
Bir diğer husus ise durgun dalga kavramıdır. Durgun dalga kavramı doğrudan ses yansımaya bağlıdır. Şekil 2.18'deki gibi iki düz paralel duvar belirli bir mesafede konumlandırıldığı, bunların arasındaki bir ses kaynağı belirli bir frekansta ses yaydığı kabulü yapılırsa beklenildiği üzere sağ duvara çarpan dalga kaynağa geri yansır, sol duvara çarpan dalga sağ duvara ve kaynağa yansır. Bir dalga sağa doğru diğeri sola doğru hareket eder. Bu iki dalga hareketinin etkileşimi durgun dalga yapısını oluşturur. Bu etkileşim sabittir. Bu olay tamamen sesin iki paralel yüzeyden yansımaya bağlıdır. Diğer bölümlerde de ele alındığı gibi bu durum yapısal dikkatli bir inceleme ve düşük frekans kontrolleri gerektirir.

Kapalı alan akustiğinin ilgi alanına girmekle beraber çevre akustiğinde modellenmelerde karşılaşılan bir durum olan köşeli yansıma modellenecek alanın geometrisi ile yakından ilgilidir. Genellikle yansımaların odaların düşey duvarlarında gerçekleştiği düşünülür ancak odaların köşelerinde de yansıma meydana gelmektedir.

Şekil 2.22'de görülen köşeli yansıtıcıda 1 numaralı kaynaktan gelen ses direkt olarak kaynağın üzerine geri yansır. Geliş ve yansıma açıları kaydedildiğinde 2 numaralı kaynaktan gelen sesin çift yüzeyden yansıma sonrası kaynak üzerine geri döndüğü görülür. Benzer durum 3 numaralı kaynak için de geçerlidir.

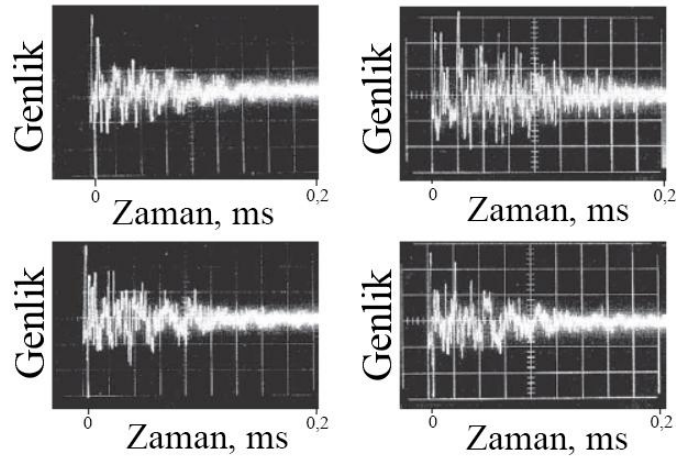
Ortalama serbest yol (OSY), sesin tüm yansımalar sonrasında kat ettiği ortalama mesafeye denir. Bu mesafenin hesaplanmasında kullanılan formülasyon Eşitlik 2.12'de gösterilmiştir. Bu eşitlikte V boşluk hacmini (ft³), S boşluk yüzey alanını (ft²) ifade etmektedir.

$$OSY = \frac{4V}{S} \quad 2.12$$



Şekil 2.22. Köşeli yansıtıcılarda yansımaya özelliği

Şekil 2.23'de gösterilen ekogramda 16.000 ft³ (450 m³) hacme sahip bir stüdyoda 500 Hz'te 0,51 saniye yankılanma süresi olan bir sesin ilk 0,18 saniyesi görülmektedir. Mikrofon sırayla odanın 4 farklı noktasına yerleştirilmiştir. Ses kaynağının yeri sabit tutulmuştur. Ses kaynağı olarak da her vuruşu 1 ms'den daha az sürede yoğun bir ses oluşturan hava patlatmalı kâğıt delici bir tabanca kullanılmıştır. 4 pozisyon için yansımaya yolları farklılık göstermiştir. Grafiklerde her bir mikrofon için yansımaya durumları açıkça görülmektedir. Ekogramlarda da görüldüğü üzere odanın içerisinde kararlı durumun aksine 0,18 ms'lik geçici bir ses alanı tanımlanmıştır. Bu yansımalar oda akustiği algısında önemli rol oynamaktadır.



Şekil 2.23. Yankılanma süresinin belirlenmesi

2.4.2 Kırınım

Kırınım kavramı sesin yayılım yolundaki bir engelin etrafından geçebilmesini ifade etmektedir. Ses yayılım yolundaki engellerin etrafından geçebilir ve köşelerden kırılabilir. Buna en güzel örnek evin bir odasında çalan müziğin diğer odalardan duyulabilmesidir. Ancak çalan müziğin karakteri her bir noktada farklılık gösterir. Dalga boyu uzun olan sesler engellerden ve köşelerden daha kolay geçerler. Normalde çizgisel hareket eden ses kırınım neticesinde farklı yönlere ulaşabilir.

Sesin r mesafesinin yeterince fazla olduğu durumlarda, dalga yüzeyinin düz bir hat halinde hareket eder. Orta ve yüksek duyulabilir frekanslardaki ses ışınları dalga yüzeyine dik şekilde hareket ederler. Ses ışınları ve dalga yüzeyi düz bir çizgi halinde hareket ederken karşılıklı bazı engeller çıkabilir. Sesin önüne çıkan engeller sesin yayılım yolundan sapmasına neden olabilir. Bu sapmaya kırınım denilmektedir. Kırınım latince parçalara ayrılmak manasına gelen diffringere kelimesinden gelmektedir.

Newton çalışmalarında parçacık fiziği kurallarına göre ışığın çizgisel yayılacağı çıkarımında bulundu. Ancak sonraki çalışmalarda ışığın her zaman çizgisel olarak yayılmadığı, kırınım sebebiyle doğrultusundan saptığı ortaya çıktı. İçinde sesin de olduğu tüm dalga hareketlerinde kırınım olabileceği bunun sebebinin de farz girişimi sebebiyle olduğu bilinmektedir. Çevresel gürültü modellemelerinde sesin kırınımı olayının önemli olduğu bilinmektedir. Ses yayılım yolu üzerindeki engellerin (bina, duvar, bariyer vb.) etkisiyle kırınımına uğrayabilmektedir. Bu sebeple yapılan modellerin gerçek durumu olabildiğince yansıtması amacıyla kırınımına sebep olabilecek engellerin modellenmesi önemlidir.

2.5 Sesin Algılanması

İnsan kulağının fiziksel yapısının incelenmesi fizyoloji biliminin ilgi alanına girmektedir. Bununla beraber insanın sesi algılaması psikoloji ve fizikoakustik bilim dallarının inceleme konuları arasında yer almaktadır. Fizikoakustik kulağın fiziksel yapısını inceleyen bir bilim dalı olup sesin kulak içinde izlediği yolu ve kulağın fonksiyonlarını inceler. Birçok yönden fizikoakustik, ses mühendisliğini insan

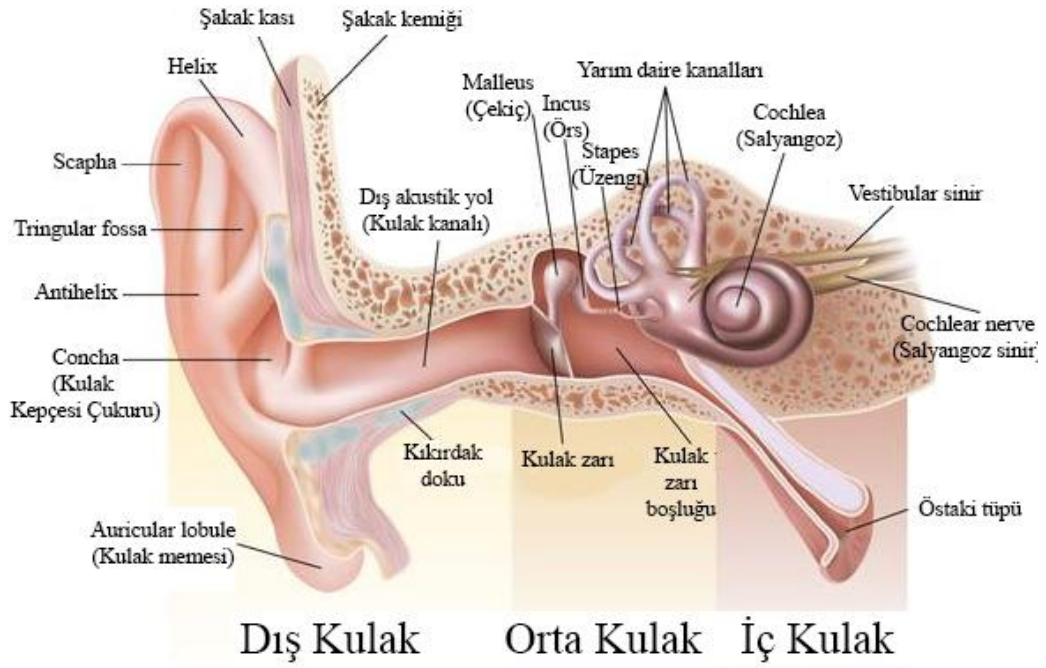
temelinde incelemektedir. Bu kapsamda fizikoakustik konularından .mp3 ve .wma gibi algısal kodek tasarımlarında faydalanılmıştır.

Bir dalga tarafından uyarılan insan kulağı bileşenleri, mekanik hareket üretir ve bu üretilen mekanik hareket elektrik sinyalleri halinde beyne gönderilir. Beyin tarafından anlamlandırılır. Bu proses sonucunda oluşan algıya ses denilmektedir. Sesin nasıl anlamlandırıldığı ise çok derin bir araştırma konusudur. İnsan kulağı ses mühendisliğindeki en karışık cihazdır. Buna bir örnek vermek gerekirse, bir senfoni orkestrası farklı müzik aletlerinin farklı notaları çalması sonucu oluşan çok sesli bir eseri seslendirmektedir. İnsan kulağı kemanlara yoğunlaştığında kemanları, üfleli çalgılara konsantre olduğunda üfleli çalgıları duymaktadır. Bu durum insan kulağının akustik gücünü göstermektedir. Çünkü bu durum, insan kulağının karışık ses dalgalarını birbirlerinden ayırabildiğini göstermektedir.

İnsan, anekoik bir odada kendi kalp atışının ve kan akışının sesini duyabilmektedir. İnsan kulağının duyma sınırı, hava partiküllerini hareket ettiremeyecek seviyedeki sesler ile belirlenmiştir. Duyma sınırı kulak zarının titreşmesi için gereken basıncı sağlayamayan sesler ile belirlenir. Diğer durumda yüksek ses seviyesine sahip bir ortama girildiğinde, ani olarak gelen yüksek seslerde kulak zarar görebilir ve ağrı hissi yaratarak, anılan ortamdan uzaklaşılması gerektiği hissi ile kendini korumaya almaya çalışır. Bu kapsamda, çevresel akustik ve modelleme çalışmalarında kullanılacak verilerin temini sebebiyle yapılan çalışmaların kolaylıkla yapılabilmesi ve sıhhati için insan kulağı anatomisinin genel hatları ile bilinmesi faydalı olacaktır.

2.5.1 İnsan kulağı anatomisi

İnsan duyma sistemi üç adet temel bölümden oluşur. Bunlar; dış kulak, orta kulak ve iç kulaktır (Alberti, 2015). Şekil 2.24'de insan kulağının temel bölümleri gösterilmektedir. Dış kulak kulak kepçesi ve kulak yolundan oluşur. Kulak yolu tempanikmembran veya kulak zarı ile sonlanır. Orta kulak içerisinde küçük kemikler bulunan hava dolu bir boşluktur. Orta kulakta bulunan kemikler; malleus, incus ve stapes olarak adlandırılır. Bu isimler latince olup çekiç, örs ve üzengi olarak çevrilebilirler. Kemiklerin isimleri şekilleri bakımından isimleri verilen el aletlerine benzedikleri için verilmişlerdir.



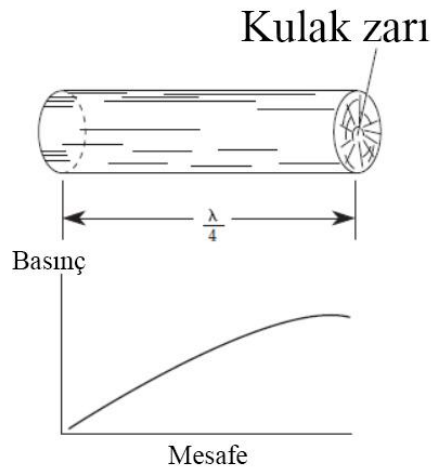
Şekil 2.24. İnsan kulağının başlıca bölümleri

Çekiç adlı kemik kulak zarına, üzengi ise iç kulaktaki oval pencere adlı yapıya irtibatlıdır. Bu üç kemik mekanik olarak birbirlerine bağlanmışlardır. Bu sayede hava ile temas eden kulak zarı ile sıvı dolu cochlea (salyangoz) arasında irtibatı sağlarlar. İç kulak duyma sinirleri ile sonlanır. Bu sinirler elektrik sinyallerini beyne iletmekle sorumludurlar.

Kulak keçesinin görevi sesleri toplamaktır. Ellerimizi kulak keçesinin arkasına koymak kulak keçesinin etkili yüzeyini arttıracak ve ses daha yüksek duyulacaktır. Bazı hayvanların kulaklarını kaynağa doğru çevirmeleri kulak keçesinin çalışma mekanizmasını anlamak için güzel bir örnektir. Normal konuşma sesinde frekans aralığı yaklaşık olarak 2.000 ila 3.000 Hz arasındadır. Kulak keçesi, kulak zarındaki ses basıncını yaklaşık olarak 5 dB arttırmaktadır. Kulak keçesinin bir diğer hassas fonksiyonu da kulağa gelen seslerin yönlerinin belirlenmesidir. Bu durum kulak zarı üzerindeki bileşke ses basıncının içeriğini ve geldiği yönü beyin tarafından yorumlanması için eşleştirdiği anlamına gelir. Ayrıca kulak keçesi sesin önden mi yoksa arkadan mı geldiğinin bilgisini de sağlamaktadır. Bu sebeple açık bir alanda gözlerinizi kapadığımızda sesi oluşturan kaynağın konumunu belirleyebilmek

kolaylaşmaktadır. Ancak günümüzde yansıma, kırılma, saçılma ve emilim meskun mahallerde çok fazla olduğundan kaynağın yerinin belirlenmesi zor olmaktadır.

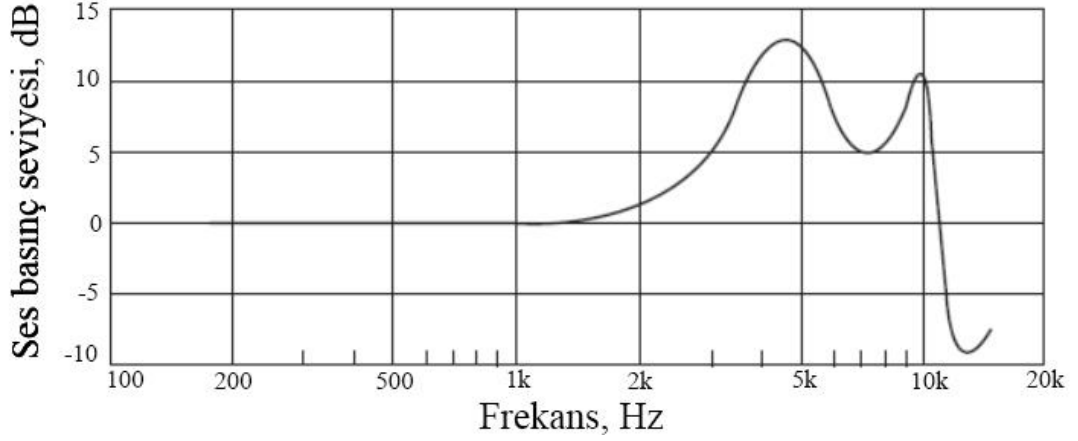
Kulak kanalı sesin geçişi sırasında sesin artmasını sağlar. Kulak kanalı ortalama çapı 0,7 cm ve boyu farklı kaynaklarda 2,5 ile 4 cm aralığındadır (Errede, 2015). İdeal koşullarda kulak yolu çapı kanal boyunca eşit ve kulak kanalı düz olmalıdır. Akustik olarak kulak kanalının böyle olması insanın duymasında avantaj sağlamaktadır. Kulak kanalı boru şeklindedir ve kulak zarı ile sonlanmaktadır. Şekil 2.25’de kulak kanalı şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.25. Kulak kanalı şematik gösterimi

Boru şeklindeki bu organın bir tarafının kapalı olması rezonans etkisini artırır ve kulak zarında ses basıncı artar. 2,5 ila 4 cm uzunluğundaki kulak kanalında çeyrek dalga boyu maksimum duyulabilir frekansı vermektedir. Bu frekans ise yaklaşık olarak 3.000 Hz civarındadır. Şekil 2.26’da kulak kanalı sebebiyle kulak zarında ses basıncının artması gösterilmiştir.

İlk olarak artışın pik seviyesi 3 000 Hz civarındadır. Bunun sebebi dalga boyunun çeyreğinin kulak kanalındaki rezonans etkisinden kaynaklanmaktadır. Kulak zarındaki ses basıncının temel kulak kanalı rezonans genliği yaklaşık olarak 4.000 Hz’de 12 dB değerindedir (Everest, 2009)

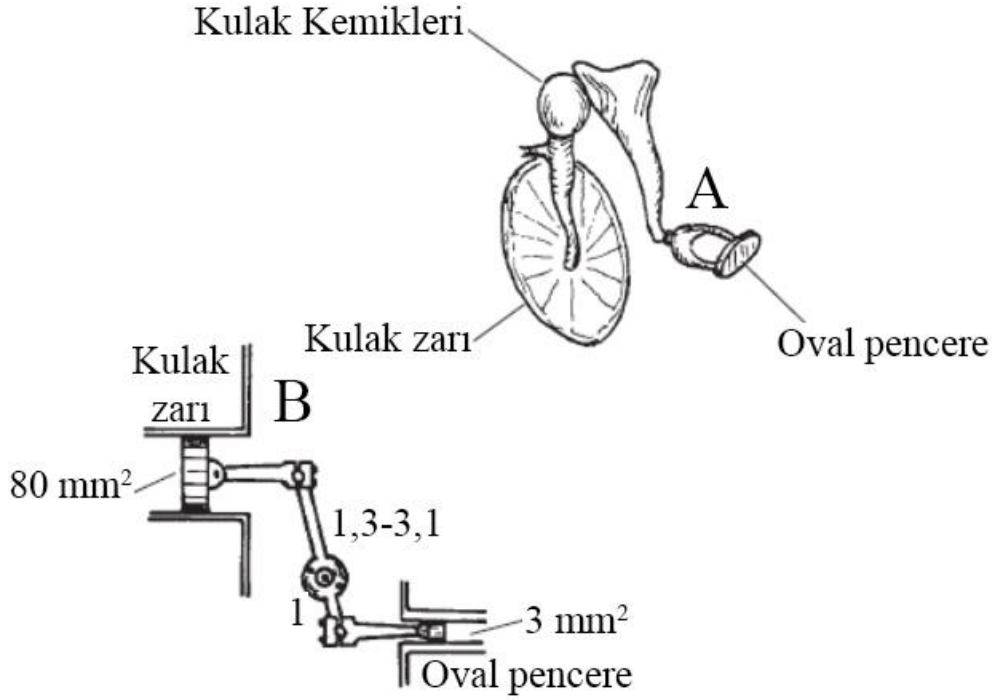


Şekil 2.26. Kulak kanalı rezonans tepkisi gösterimi

İkinci pik rezonans seviyesi yaklaşık olarak 9.000 Hz civarındadır. Ek olarak düzlemsel bir dalganın kafaya çarpması ile yayılım meydana gelmektedir. Bu yayılma orta frekanslarda kulaktaki ses basıncını arttırmaktadır. Bu etki kulağın orta frekanslara daha hassas olmasını sağlamaktadır. Bu frekanslar konuşmada kullanılan frekanslardır. Ancak işitme kayıpları da özellikle orta frekanslarda meydana gelmektedir.

İnsan duyma sisteminin ikinci temel ögesi orta kulaktır. Ses enerjisinin hava gibi az yoğun bir ortamdaki su gibi yoğun bir ortama geçişinde bazı zorluklar bulunmaktadır. Geçiş mekanizmasının olmadığı durumlarda hava kaynaklı ses suya geçişte aynadan ışığın yansımaya/kırılmasına benzer şekilde davranarak yansıyabilmektedir. Verimli bir enerji transferi için iki iç direncin (empedansın) eşleşmesi gerekmektedir. Bu durumda empedans oranı 4.000:1 civarındadır. Bu durum 4.000 ohm'luk bir çıkış empedansına sahip amplifikatörden çıkan sinyalin hoparlörden 1 ohm'luk güçte çıkmasına benzetilebilir. Orta kulak empedanslarının eşleşmesini sağlamaktadır.

Orta kulaktaki yapılan iş kulak zarındaki vibrasyon hareketinin en verimli şekilde sıvı dolu iç kulağa iletilmesinin sağlanmasıdır. Şekil 2.27'nin A kısmında kemikçikler yardımı ile mekanik olarak kulak zarı ile oval pencerenin bağlantısı görülmektedir.



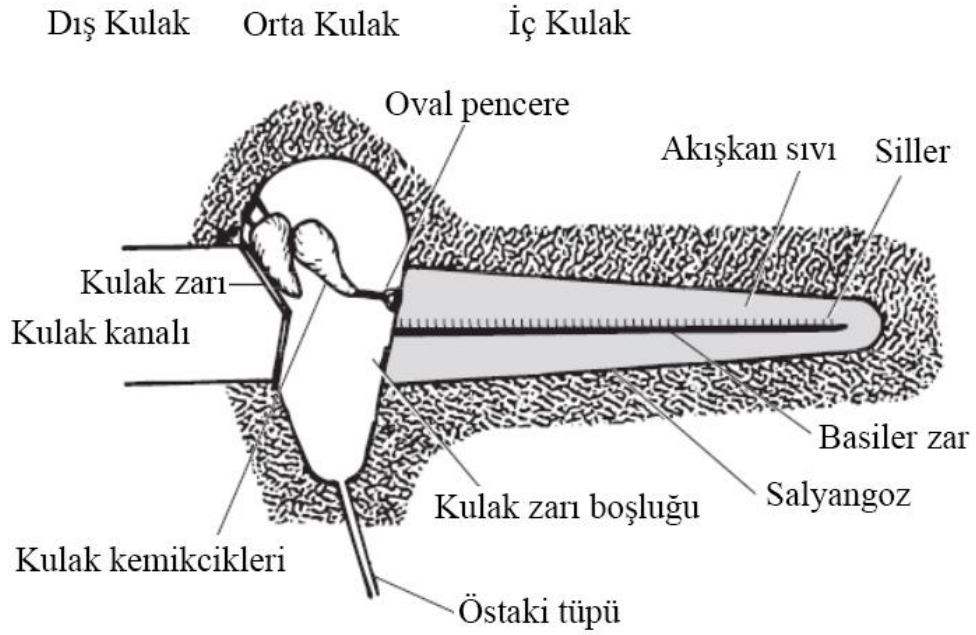
Şekil 2.27. Orta kulak empedansın eşitlenmesi mekanizması (Everest, 2009)

Üç kemikten birincisi olan çekiç kemiği kulak zarına bağlıdır. Üçüncü kemik olan üzengi ise oval pencerenin bir parçasıdır. Burada bir manivela hareketi olmaktadır. Kemiklerin boylarından kaynaklanan 1,3:1 den 3,1:1 oranlarında olmak üzere bir manivela hareketi bulunmaktadır. Kulak zarındaki hareket bu oranlarda azaltılarak iç kulaktaki oval pencereye iletilir. İşitmedeki bu kısım sadece mekanik empedans eşitleme mekanizmasını tarif eder. Ek olarak kulak zarının alanı yaklaşık olarak 80 mm^2 'dir. Buna rağmen oval pencerenin alanı ise 3 mm^2 'dir. Bu nedenle kulak zarındaki bir kuvvet 27/1 oranında azalarak oval pencereye aktarılmaktadır.

Şekil 2.27'nin B kısmında; orta kulağın hareketi iki pistonun hareketine benzetilmiştir. Pistonların alanları oranı 27:1 'dir. Pistonlar birbirlerine bir rot ile bağlanmışlardır. Rotu oluşturan manivelaların oranı 1,3:1'den 3,1:1'dir. Toplam mekanik güç 35 ile 80 kez artmaktadır. Hava ve su arasındaki akustik empedans oranı 4.000:1'dir. İki ortam arasındaki basınç eşleşme oranı $4.000^{1/2}$ olacaktır. Bu oran yaklaşık olarak 63,2'ye eşittir. Mekanik eşleşme oranı Şekil 2.27'de gösterilen mekanik oran aralığının arasında kalmaktadır. Orta kulakta bulunan kemiklerin büyümemesi ve boyutlarının değişmemesi enerjinin verimli iletilmesinde fayda

sağlamaktadır. Havanın içindeki sesin sıvının içindeki ses ile eşleşmesi orta kulak vasıtası ile gerçekleşmektedir.

İnsan kulağının yapısı şematik olarak Şekil 2.28’de gösterilmektedir. Kulak kanalı sonundaki kulak zarının konik bir şekilde durduğu görülmektedir.



Şekil 2.28. İnsan kulağı bölümleri şematik gösterimi (Everest, 2009)

Kulak zarı içi hava dolu orta kulağa doğru çökmüş durumdadır. Orta kulak, burun boşluğunun arkasında bulunan östaki borusu tarafından havalandırılmaktadır. Kulak zarı, orta kulakta sıkışmış havaya karşı akustik süspansiyon olarak çalışmaktadır. Basınç uyumunun bozulmaması için östaki borusu bulunmaktadır. Oval pencere içi sıvı dolu iç kulak ile içi hava dolu orta kulağı birbirinden ayırmaktadır.

Kulak zarı içi hava dolu orta kulağa doğru çökmüş durumdadır. Orta kulak, burun boşluğunun arkasında bulunan östaki borusu tarafından havalandırılmaktadır. Kulak zarı, orta kulakta sıkışmış havaya karşı akustik süspansiyon olarak çalışmaktadır. Basınç uyumunun bozulmaması için östaki borusu bulunmaktadır. Oval pencere içi sıvı dolu iç kulak ile içi hava dolu orta kulağı birbirinden ayırmaktadır.

İç kulakta bulunan salyangoz ismindeki yapı, denge organı olmakla birlikte birbirine dik üç adet yarım daire şekilli kanaldan oluşur. Tüm kanallarda aynı sıvı bulunmakla birlikte fonksiyonları birbirlerinden bağımsızdır. Salyangoz boyutları itibariyle bir bezelye büyüklüğündedir ve kemikten yapılmıştır. Görünüş itibariyle salyangoz kabuğuna benzediğinden bu isimle adlandırılmıştır.

Şekil 2.28'de salyangozun açıldığındaki durumu betimlenmiştir. İçi sıvı dolu iç kulak uzunlamasına iki adet zar tarafından bölünmüştür. Bu zarlar Reissner Zarı ve Basiler Zar olarak isimlendirilirler. Basiler zarı ses titreşimlerini sıvıya iletmekle sorumludur. Kulak zarının titreşimleri kulak kemikleri aktive etmektedir. Oval pencereye bağlı bulunan üzengi kemiği, iç kulak içindeki sıvının titreşmesini sağlar. Oval pencerenin içe doğru hareketi Basiler zarın sonunda sıvı akışına sebep olur. Oval pencerenin dışa hareketinde ise basınç azalır. Sesin oval pencerenin üzerinde meydana getirdiği dalgalar basiler zar üzerine aktırılmaktadır. Basiler zar üzerindeki dalgaların genlik piklerinin pozisyonundaki değişim, sesin frekanslarındaki değişime işaret etmektedir. Düşük frekanslı sesler sonucunda oluşan maksimum genlik basiler zarın sonlarında, yüksek frekanslı seslerin oluşturduğu pikler oval pencereye yakın konumlarda oluşmaktadır.

Müzik, konuşma gibi karışık sinyaller basiler zarın çeşitli noktalarında ani ve birbirinden çok farklı genlikler oluşmasına sebep olmaktadır. İnsan kulağı basiler zar üzerinde meydana gelen genlikleri yüksek kesinlikle algılayabilmektedir. Basiler zar üzerinde oluşan dalgalar içi sıvı dolu iç kulakta bulunan sinir terminal sillerini uyarır. Burada bir sıra iç sil ve 3 ila 5 arası dış sil bulunmaktadır. Her sil stereocilia adı verilen daha küçük sil gruplarından oluşmaktadır. Sesbasiler zarda ve salyangoz sıvısında harekete neden olur. Stereocilia adı verilen küçük tüycükler bu sayede titreşmeye başlarlar ve sesin frekanslarına göre zar üzerindeki çeşitli pozisyonlarda hareketlenirler. İç kulak içerisindeki hücreler mikrofona benzeri çalışarak hareketten oluşan mekanik dalgaları elektrik sinyallerine dönüştürürler ve sinirler aracılığıyla beyne iletirler. Dış tarafta bulunan siller ise daha fazla kazanım veya azalma sağlayarak iç sillere gelen uyarıyı ayarlarlar. Bu sayede duyma eylemini daha hassas şekilde gerçekleştirir. Ses, iç kulak sıvısını hareketlendirdiğinde basiler zar ve siller tarafından elektrik sinyalleri oluşmaktadır. Oluşan bu mikrofona benzeri sinyaller alınır ve yükseltilir. Oluşan elektrik sinyalleri ses basıncı ile 80 dB aralığında doğru

orantılıdır. Mikrofonik gerilim, hareketten doğan gerilimden farklıdır. Mikrofonik gerilim beyne bilgi taşımaktadır. Stereocilia tarafından tetiklenen sinyaller işitme sinirleri tarafından beyne ulaştırılır.

2.6 Gürültü Hususundaki İdari ve Yasal Çerçeve

Avrupa Komisyonu tarafından 2002 yılında yayımlanarak yürürlüğe giren Çevresel Gürültü Direktifi (The Environmental Noise Directive, END), Avrupa Birliği ülkelerinin ulusal gürültü politikalarının desteklenmesi, üye ülkelerin kentsel planlamalarında yol göstermesi ve gürültüye maruziyet ile etkileri hakkındaki bilgilerin topluma ulaşmasının sağlanması amaçlarına hizmet etmektedir. 2002/49 EC (END, 2002) sayılı direktif paralelinde ülkemizde de, 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun ilgili hükümleri gereğince 04/06/2010 tarih ve 27601 sayılı Resmi Gazete'de "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY)" yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (ÇGDYY, 2010). Yönetmelik, kişilerin beden ve ruh sağlığını, huzur ve sükûnunu gürültü ile bozmayacak bir çevrenin geliştirilmesi ve çevresel gürültüye maruz kalmanın etkileriyle mücadele etmeye yönelik olarak kaynaklardan yayılan gürültü emisyonuna sınırlamalar getirmiştir. ÇGDYY kapsamında stratejik gürültü haritalama esaslarına göre 250.000'den fazla yerleşik nüfusu olan ve nüfus yoğunluğu kilometrekarede 1000'den fazla olan yerleşim alanları, stratejik gürültü haritalarının hazırlanması gereken öncelikli alanlar olarak tanımlanmıştır.

ÇGDYY'ne göre, yerleşim alanları içerisinde yer alan işletme, tesis, atölye, imalathane, eğlence yeri ve benzeri alanların gürültü haritalarında TS ISO 9613-2 standardının, karayolu trafiği gürültüsü için Fransız ulusal hesaplama yöntemi olan "NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)"nin ve demiryolu gürültüsü için Hollanda ulusal hesaplama yöntemi (RMR) "Reken-MeervoorschriftRailverkeer Slawaai-96" hesaplama yönteminin kullanılması öngörülmektedir.

Ayrıca ÇGDYY'nin Ek-VII kısmında bulunan Tablo 1'de karayolu çevresel gürültü sınır değerleri bulunmaktadır. Bu değerler planlanan/yenilenmiş/onarılmış yollar ve mevcut yollar başlığı altında sınıflandırılmış olup Çizelge 2.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. ÇGDYY uyarınca karayolu çevresel gürültü sınır değerleri (ÇGDYY, 2010)

Alanlar	Planlanan/Yenilenmiş /Onarılmış Yollar, dBA			Mevcut Yollar, dBA		
	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}
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

Avrupa Birliği'nde tüm üye ülkelerde 250.000 ve üzeri nüfusa sahip kentsel alanların stratejik gürültü haritasının hazırlanması gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak, yerleşim alanlarında gürültü maruziyetini belirlemek için gürültü tahmin modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır (European Commission, 2002). Gürültü tahmin modellerinde, çeşitli kaynaklardan yayılan gürültünün maruziyet alanlarını hesaplamak için yapılan nicel analizlerde (Örn.: Karayolu trafiği), yayılma (Örn.: Topoğrafik etkiler, atmosferik yutulma) ve zayıflama (Örn.: Binalarda yansımalar) faktörleri kullanılmaktadır (Samuel, 2006).

2.7 Gürültü ve İnsan Üzerine Etkileri

Gürültü, genel olarak beğenilmeyen, hoş gitmeyen ve herhangi bir değeri olmayan sesler olarak tanımlanmaktadır (Magrab ve Jackson, 1972). Kaynaklardaki gürültü, nicelik ve nitelik bakımından, yaşam standardının günden güne yükselişine paralel olarak artmıştır. Bu artışın sonucunda ise insanların sağlığını etkileyen çevresel faktörlerden birisi haline gelmiştir. 20. yüzyılın başında gelişmeye başlayan endüstrileşme sonucu, sanayi makinelerinin sesleri, gücün, ilerlemenin ve daha iyi

bir yaşamın sembolleri olarak kabul edilirken, günümüzde teknolojik gelişmenin olumsuz faktörleri olarak belirtilmektedir (B.M.U., 1988). Gürültü, teknolojik gelişmelerin yol açtığı çevre kirliliklerinin en önemlilerinden birisidir (Karabiber, 1991).

Özellikle büyük şehirlerde aynı anda gürültü yayan çok sayıda kaynak bir arada bulunabilmektedir. Bu gürültü kaynakları arasında en önemlileri ulaşım ve sanayi tesisleridir. Motorlu araç trafiği, raylı ulaşım, hava ulaşımı ve deniz ulaşımından kaynaklanan gürültüler ulaşım kaynaklı gürültüler olarak nitelendirilirler. Birçok ülkede yapılan etkilenme analizleri sonucunda insanları en fazla rahatsız ettiği belirtilen gürültü türü; ulaşımdan kaynaklanan gürültülerdir (Nelson, 1987). Kentsel yerleşim bölgelerinde ortaya çıkan gürültünün yaklaşık %80'i trafikten kaynaklanmaktadır (Beranek, 1960). Fabrika, sanayi tesisi, atölye, imalathane, liman ve eğlence tesisleri endüstri gürültüleri olarak sınıflandırılır. Gürültü kaynaklarının alıcılara etkileri araştırılırken öncelikle her bir bağımsız gürültü kaynağının emisyonları incelenmektedir.

Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülkenin öncelikli sorunlarından birisi de ulaşım gürültüsüdür. Yerleşim yerlerindeki sürekliliği ve yaygınlığı nedeniyle konut sakinlerinin en çok maruz kaldığı gürültü türü motorlu taşıtların karayolları üzerinde hareketlerinin neden olduğu karayolu gürültüsüdür. Özellikle nüfusun gündün güne büyümesine bağlı olarak araç sayılarındaki artış, hızlı ulaşım yollarının yaygınlaşması ve yoğunlaşan trafik akışı karayolu gürültüsünün oluşmasındaki başlıca etmenlerdir. Karayolu gürültüsünün en önemli bileşeni olan motorlu taşıtlarla ilgili temel gürültü bileşenleri; motor gürültüsü, egzoz gürültüsü, aerodinamik gürültü, lastik-yol yüzeyi sürtünmesinden kaynaklanan gürültü, fren ve klakson gürültüleridir. Karayolu gürültüsü, esas olarak, taşıtın mekanizması ile taşıt-zemin-hava arasındaki sürtünmelerden meydana gelmektedir. Trafikğin ses basınç düzeyi, akış oranı, araçların hızı, ağır ile hafif taşıt sayıları ile yol yüzeyinin özelliği karayolu gürültüsünde etkilidir. Çizelge 2.4'de ses seviyelerine bağlı olarak meydana gelebilecek olası etkiler özetlenmiştir.

Çizelge 2.4. Ses seviyeleri ile ilgili meydana gelebilecek olası etkiler (EEA, 2002)

Örnek Ses Seviyesi Tarifi	Ses Seviyesi, dBA	Olası Etkiler
Sakin Banliyö, Hafif sesli konuşma	50	Önemli bir etki görülmez.
Kalabalık bir yerde konuşma, Arkaplan müziği, Arkaplan trafik gürültüsü	60	Kelime ve seslerin anlaşılmasında aksamaya yol açar.
15 metre mesafeden otoban sesi	70	Rahatsız edici etki yaratır.
Orta büyüklükteki bir atölye, 15 metre mesafeden geçen bir tren	80	Olası kulak hasarı
Kalabalık bir şehir caddesi, kamyon motoru sesi	90	8 saatin üzerinde maruz kalınması halinde kronik kulak hasarı, konuşmaların anlaşılmasını
300 metre mesafeden jet uçağı kalkışı, motorlu testere	100	Yukarıdaki etkiden daha muhtemel ve daha şiddetli etkiler
Kulağına yakın tutulan teyp	110	Yukarıdaki etkiden daha muhtemel ve daha şiddetli etkiler
Canlı rock müziği performansı, 160 metreden jet uçağı kalkışı	120	Yukarıdaki etkiden daha muhtemel ve daha şiddetli etkiler (İnsan ağrı eşiğı)
Kulaklıkla yüksek sesli müzik dinlemek	130	Yukarıdaki etkiden daha muhtemel ve daha şiddetli etkiler
Kulağına yakın konumda maytap patlaması	150	Akut kulak hasarı, kullak zarı delinmesi

Karayolu gürültüsü incelenirken, her bir taşıtın sebep olduğu gürültü ile trafik akışının sebep olduğu gürültünün mutlaka ayrı ayrı ele alınması gerekir. Yoldan uzaklaştıkça gerek taşıtların, gerekse trafik akışının sebep olduğu gürültünün şiddeti azalmaktadır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan gürültüler incelenirken öncelikle taşıtların sınıflandırılması gerekmektedir. Taşıtlar, gereksinime bağlı olarak tekerlek sayılarına, akslarına, kullanım amaçlarına ve tiplerine göre değişik biçimlerde sınıflandırılır. Gürültü açısından sınıflandırma ise, emisyonlarına bağlı olarak, ağır ve hafif taşıtlar biçimindedir. Üç tondan ağır olan çeşitli büyüklükteki kamyonlar, otobüsler ağır taşıt olarak sınıflandırılırken, otomobil ve motosiklet ise hafif taşıt olarak nitelendirilebilir.

Gerçekleştirilen araştırma sonuçlarına göre gürültü düzeyleri; artan taşıt ağırlığı, motorun bakımsız ve eski olması, artan hız ve ivmeye bağlı olarak artmaktadır (Nelson, 1987). Genellikle düşük hızlarda motor gürültüsü, yüksek hızlarda lastik/yol yüzeyi sürtünme gürültüsü, orta hızlarda ise aerodinamik gürültü önemli olmaktadır.

Karayolundan kaynaklanan gürültüde diğer önemli bir etken de ulaşımın hacmi (taşıt/birim zaman) veya gece-gündüz ağırlığı uygulanarak bulunan "efektif taşıt sayısı" olarak belirtilebilir (Johnson ve Saunders, 1968).

Karayolu gürültüsüne etki eden bu faktörlerin dışında, yolun tek veya çift yönlü olması, şerit sayısı, yol kaplama malzemelerinin dokusu, boşluk oranı ve yoğunluğu da önemlidir. Yoldaki aşağı eğim, gürültü seviyelerinde azalmaya sebep olurken, yokuş yukarı olduğunda ise motorun daha fazla zorlanması ve parçaların üzerine daha fazla yük binmesi nedeniyle gürültü emisyon miktarında artışlar gözlenmektedir (TÜBİTAK MAM, 2015).

Yolların kaplamalarının (asfalt beton ve parke gibi) gürültü düzeyleri üzerindeki etkileri araştırılmış ve özellikle soğuk iklim bölgelerinde kaymaya karşı uygulanan yivli ya da oluklu beton yüzeylerin, sürtünmeden dolayı gürültü düzeylerini arttırdığı ifade edilmiştir (Kurra, 2009). Yol eğiminin artması, yollarda bulunan dönemeç ve kavşaklar, yolların çevreye göre yükseltilmiş veya alçaltılmış olması özellikle gürültünün yayılma alanını etkiler ve topoğrafik etkiler ile yapısal etkilerin doğru saptanmasını gerektirir. Yol genişliği ve şerit sayısı ise gürültü hesaplamalarında, ulaşım hacmi, kaynak uzaklığı gibi diğer değişkenleri de etkiler. Özetle, trafik ışıkları, tepeler ve kesişen yollar ya da topografya, meteorolojik koşullar ve düşük fon gürültüleri gibi trafik hareketleriyle taşıtın hızında ve gücünde değişikliklerin gerektirdiği özel bölgelerde ve durumlarda gürültü düzeyleri yükselebilir.

Dünyada, hızlı sanayileşmeden dolayı, gürültü bir halk sağlığı problemi olarak önem kazanmıştır. Karayolu trafiği gürültüsü, uçak gürültüsü ve demiryolu gürültüsüne uzun süre maruziyet, uyku bozuklukları, stres ve kardiyovasküler hastalıklar vb. sağlık problemleriyle ilişkilendirilmiştir (WHO, 1999). Çeşitli araştırmalarla kaynak türlerinin ayrı ayrı rahatsızlık etki sonuçları doz-etki ilişkisi temelinde saha çalışmaları ile doğrulanmıştır.

Daha önce kaynak bazında yapılan değerlendirmelerde rahatsızlık karşılaştırmaları yapılmıştır. Berry (1983), Birleşik Krallık'da yaptığı çalışmada, üç ayrı kaynak türünün rahatsızlık etkilerini karşılaştırmıştır. Çalışma sonucuna göre demiryolu gürültüsünün karayolu gürültüsünden her zaman daha az rahatsızlık vermediği ortaya çıkmıştır. Diğer taraftan, havalimanı gürültüsünün rahatsızlığının daha yüksek olduğu işaret edilerek, havalimanı gürültüsü ile karayolu gürültüsünün aynı rahatsızlık derecesi için 10 dB(A) sabit farkla birbirine paralel regresyon eğrilerine sahip oldukları görülmüştür. Cooper vd. (1983), Heathrow Havalimanında yaptıkları çalışmada, kaynak bazında rahatsızlıkları karşılaştırdıklarında etkileri bir skalada dört dilimde ifade etmişler ve Leq (dış ortam)=60 dB(A) değerinde havalimanı gürültüsünün daha yüksek rahatsızlık etkisine, daha düşük değerlerde ise karayolu gürültüsünün daha yüksek rahatsızlığa neden olduğunu göstermişlerdir. Kryter (1985), havalimanı gürültüsü kaynaklı rahatsızlığın L_{gag} (Leq)=50-80 dB(A) aralığında tüm seviyelerde karayolu gürültüsünden daha büyük olduğunu (örneğin 70 dB(A) için havalimanı gürültüsü karayolu gürültüsünden %12 daha fazla) ortaya koymuştur. Bu çalışmalardan önce, Rice havalimanı ve karayolu gürültüsüyle ilgili çeşitli koşullar için deneyler gerçekleştirmiş ve tersine, karayolu gürültüsüyle mücadele etmenin havalimanı gürültüsüne göre daha zor olduğuna dair tavsiyelerde bulunmuştur. Havalimanı ve karayolu gürültü seviyeleri için yaptığı değerlendirmede, regresyon eğrileri arasında dış ortamda sabit Leq =3 dB(A) ve iç ortamda sabit Leq =5 dB(A) fark tespit etmiştir. Bununla birlikte, Izumi'nin (1986) Japonya'da yaptığı benzer çalışmada bu sonucu desteklemektedir. Izumi aynı zamanda havalimanı ve karayolu gürültü rahatsızlıkları arasındaki farkın yüksek gürültü seviyelerinde azaldığını vurgulamıştır.

Akut gürültü maruziyetinin kan basıncı ve stres hormonlarının seviyesinde geçici artışlara neden olduğu deneysel çalışmalarla ortaya koyulduğu için, uzun süreli maruziyetin sağlık üzerine olumsuz etkileri olabileceği hipotezi öne sürülmektedir (Babisch, 2000). Karayolu trafiği gürültüsüne maruziyetle ilgili çok sayıda sağlık problemi ilişkilendirilmiştir. Yapılan çalışmalarda, gürültü seviyesi ile yüksek tansiyon ve miyokardinfarktüs hastalıklarının artışı arasındaki ilişkiler belirlenmiştir (Fyhri ve Aasvang, 2000).

2.8 Trafik Gürültüsü Tahmin Modelleri

Trafik gürültüsünün ilk tahmin çalışmaları 1950'li ve 1960'lı yıllarda yapılmıştır. Temel değerlendirmede L_{50} değeri kullanılmaktadır. L_{50} değeri ölçüm zamanın %50'sinde alıcıya gelen sinyallerin aştığı değeri açıklamaktadır ($L_{50}=65$ dB ise ölçüm zamanının % 50'sinde 65 dB üstünde ses seviyesi tespit edilmiştir.). Bu model araçları, prensip olarak sürekli akış halindeki bir akışkan olarak kabul eder ve araçların sabit hızda ve birbirleri arasında ayırım olmadan hareket ettiklerini kabulüne dayanır. İlk modellerden bir tanesi 1952 yılında geliştirilmiştir. Bu modelde trafik kaynaklı gürültünün %50'sinin ortalama hızının 55 ile 75 km/saat arasında ve trafik bloğunun 6 metreden büyük olduğu durumlar baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır (Anonim, 1952).

Ulaşım ve sanayi kaynaklı çevresel gürültü düzeyleri, hesaplama yöntemleri veya standart ölçüm yöntemleri kullanılarak tespit edilmektedir. Günümüzde gürültü haritaları, çoğunlukla üç boyutlu dijital yükselteleri, trafik akışı ve kompozisyonu ile meteorolojik koşullar gibi bilinen veya tahmin edilen parametrelerin hesaplanması sonucu elde edilirler. Genellikle bütün alanlar için gerekli tüm veriler bulunamayabilir. Bununla birlikte, bu tür hesaplamalar için belirsizlik bilgileri nadiren bulunabilmektedir. Ayrıca, yasal zorunlulukların nasıl karşılanacağına dair yönlendirmede de eksiklik olabilmektedir. Sonuç olarak, modeli gerekli girdi verileriyle çalıştırabilmek için belirli kabuller yapmak ve stratejiler belirlemek gerekebilir. Bu sebeple, çalışma alanındaki belirli noktalarda model doğrulaması için genellikle kısa süreli ölçümlerin sonuçları kullanılır (Miouduszewski vd., 2011).

Gürültü haritaları, sınırlı alanlarda akustik ölçümlere dayalı elde edilen sonuçlarla hazırlanabileceği gibi, sesin ortamda yayılması sırasında yansıtıcı yüzeyler, engeller, saçıcı köşeler, yutucu zemin gibi çeşitli fiziksel elemanların ve atmosferik koşulların etkileri dikkate alınarak hesaplama yöntemi ile de hazırlanabilmektedir (Kurra, 2009). Gürültü haritaları genellikle yıllık ortalama seviyeleri ya da en kötü durumu temsil eden koşulları gösterecek nitelikte hazırlanırlar. Avrupa Birliği Çevresel Gürültü Direktifi günün değişik zaman dilimlerine göre tanımlanan gürültü terimleri ($L_{gündüz}$, $L_{akşam}$, L_{gece} , L_{gag}) için LA_{eq} değerinin gösterilmesini gerekli görmektedir. Buna ilave olarak, gürültü haritalarının doğrulanması ve hesaplamaların

belirsizliklerinin tahminine yönelik bir doküman da (WG-AEN Guide) yayımlanmıştır (European Commission, 2006). Spesifik bir çevrenin geometrik ve fiziksel haritalarıyla tarif edilen gürültü konturları, farklı gürültü kaynakları (havalimanları için ECAC, sanayi tesisleri için ISO 9613, demiryolu için RMRS ve karayolu için NMPB) için kullanılan tahmin modelleri ile elde edilirler (Salomons vd., 2011).

Gürültü seviyesi ile ilgili hesapların doğrulanması, ölçülen ve hesaplanan değerlerin karşılaştırılmasıyla sistematik olarak elde edilebilmektedir. Yerleşim yerlerinde yaygın olarak bilinen gürültü haritalama metodolojisi, verilerin elde edilmesi, kriterlerin belirlenmesi, bir ızgara sistemi üzerinde gürültü seviyelerinin hesaplanması, fiziksel çevre üzerinde gürültü konturlarının gösterimi adımlarını kapsamaktadır. Haritalamada değerlendirilmesi gereken diğer faktörler arasında, kullanılacak yazılım, bilgisayar kapasitesi, verilerin ulaşılabilirliği, personel ihtiyacı, teknik yeterlik ve zaman sınırlaması sıralanabilir (Kurra ve Dal, 2012).

Gürültü haritaları, azaltım ve kontrol tedbirlerinin alınacağı etkilenen alanların tespitinde faydalı araçlar olarak kullanılabilir (Gan vd., 2012). Bir bölgede bir gürültü kaynağının neden olduğu mevcut veya tahmin edilen gürültü düzeylerini ortaya koymak ve yönetmeliklerde kabul edilen gürültü limitlerinin aşıldığı alanları ve etkilenen hassas yapılar (konut, okul, hastane vb.) ile nüfusu belirlemek nedeniyle çevresel gürültü haritaları hazırlanmaktadır. Gürültü haritaları coğrafi veri tabanları üzerine eklenen bilgi katmanları olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle; sınırları belirlenmiş bir bölge veya alanda yeterli sıklıkta bulunan alıcı noktaları için gürültü düzeylerinin tek tek hesaplanması ve gürültü konturlarının oluşturulmasıdır. Hesaplama noktaları ve aralarındaki mesafeler arazinin coğrafi haritaları ve yerleşim planları üzerinden belirli bir düzen içerisinde tespit edilir. Bu nedenle gürültü haritalarını hazırlama çalışmaları sırasındaki en önemli adımlardan biri fiziksel çevre verilerinin saptanmasıdır. Bu veriler, yapıların konumu ve yükseklikleri, kat adetleri, zemin tipleri, topoğrafik durum ile doğal ve yapay engellerden oluşmaktadır.

Yaygın olarak kullanılan trafik gürültüsü modelleri; temel istatistik model, İngiliz modeli, Alman modeli, İtalyan modeli ve Fransız modeli olup bunlar başlıklar halinde açıklanmıştır.

2.8.1 Temel istatistik model

Temel istatistik modelin genel denklemleri Eşitlik 2.13'de gösterilmiştir. Q saatlik bazda trafikteki araç sayısını, d ise trafiğin akış orta hattı ile gözlem noktası arasındaki mesafenin feet biriminden miktarını tanımlamaktadır.

$$L_{50} = 68 + 8,5 * \log_{10}(Q) - 20 * \log_{10} d \quad 2.13$$

Eşitlik 2.13'de araç ve yol kaplaması cinsinden bağımsız olarak geliştirilmiştir. İlerleyen yıllarda Nickson tarafından geliştirilen yeni model Eşitlik 2.14'de gösterilmiştir (Nickson, 1965).

$$L_{50} = C + 10 * \log_{10} \left(\frac{Q}{d} \right) \quad 2.14$$

Bu formülde C sabit bir değer olup deneysel verilerden elde edilmektedir. L_{50} ise ses seviyesi olup birimi dB'dir. Aynı şekilde Eşitlik 2.13'de verilen Q ve d ifadeleri Eşitlik 2.14 içinde kullanılmıştır. 1968 yılında Johnson ve Saunder tarafından araçların ortalama hızlarını da dikkate alan bir formülasyon geliştirilmiştir. Eşitlikte hız ifadesi v ile gösterilmiş olup birimi mil/saat olarak alınmıştır (Johnson ve Saunders, 1968).

$$L_{50} = 3,5 + 10 * \log_{10} \left(\frac{Q * v^3}{d} \right) \quad 2.15$$

Bu modelin deneysel veriler ile birlikte ağır araçların, trafiğin %0 ile %40'ı arasında olduğu durumlarda yüksek doğrulukta sonuçlar verdiği görülmüştür. Ek olarak bu modelde zemin yumuşaklığı ve yol eğiminin de dikkate alındığı görülmektedir.

1969 yılında Galloway ve arkadaşları tarafından ağır taşıt yüzdesi (P) modele dahil edilmiştir. Modelde L_{50} seviyesi dB cinsinden ifade edilmiş olup model Eşitlik 2.16'de gösterilmiştir.

$$L_{50} = 20 + 10 * \log_{10} \left(\frac{Q * v^2}{d} \right) + 0,4 * P \quad 2.16$$

Bu model ileriki yıllarda geliştirilmiş ve ses seviyesi indikatörü olarak eşdeğer ses seviyesi (L_{eq}) olarak kullanılmaya başlanmıştır. En fazla kullanılan modellerden olan Burgess Modeli eş değer ses seviyesini Eşitlik 2.17'de gösterildiği şekli ile tanımlamıştır (Burgess, 1977).

$$L_{eq} = 55 + 10,2 * \log Q + 0,3 * P - 19,3 * \log d \quad 2.17$$

Trafik gürültüsü yöntemleri kapsamında irdelenen istatistiksel yöntem kapsamındaki bir diğer kullanışlı hesaplama yöntemi ise Griffiths and Langdon metodu olarak bilinmektedir (Griffiths ve Langdon, 1968). Bu yöntemde yüzdelik değerler kullanılarak eşdeğer ses seviyesi tespit edilmektedir.

$$L_{eq} = L_{50} + 0,018 * (L_{10} - L_{90})^2 \quad 2.18$$

Eşitlik 2.18'de bulunan istatistiksel ifadeler (L_{10} , L_{50} ve L_{90}) Eşitlik 2.19'de belirlenmektedir. Bu eşitlikteki Q, P ve d terimleri yukarıda açıklanan ifadeler ile aynıdır.

$$\begin{aligned} L_{10} &= 61 + 8,4 * \log(Q) + 0,15 * P - 11,5 * \log(d) \\ L_{50} &= 44,8 + 10,8 * \log(Q) + 0,12 * P - 9,6 * \log(d) \\ L_{90} &= 39,1 + 10,5 * \log(Q) + 0,06 * P - 9,3 * \log(d) \end{aligned} \quad 2.19$$

1995 yılında Fagotti ve Poggi tarafından, trafik akışının içersinde motosiklet ve otobüs sayılarını da içeren bir model oluşturulmuştur. Bu modelde (Q_M ve Q_{BUS}) terimleri sırasıyla motosiklet ve otobüslerin saatlik bazda sayılarını (akış hacimlerini) tanımlamaktadır. Söz konusu model Eşitlik 2.20'de gösterilmiştir (Fagotti ve Poggi, 1995).

$$L_{eq} = 10 * \log(Q_L + Q_M + 8Q_p + 88Q_{BUS}) + 33,5 \quad 2.20$$

İstatistiksel yöntem kapsamında değerlendirilebilecek bir diğer model ise Fransız Merkezi Bilim ve Teknik İdaresi (Centre Scientifique et Technique du Batiment” C.S.T.B.) tarafından geliştirilmiştir. Bu tahmin metodunda eş değer ses seviyesi (L_{eq}) dBA cinsinden ifade edilmiş ve tahmin sırasında ortalama akustik seviye olan L_{50} baz alınmıştır (C.S.T.B., 1991).

$$L_{eq} = 0,65 * L_{50} + 28,8 \quad 2.21$$

Eşitlik 2.21’da L_{50} değeri eşdeğer taşıt akışı (Q_{eq}) kullanılarak hesaplanmakta olup eşdeğer taşıt akışının bulunduğu ifade Eşitlik 2.22’de gösterilmiştir. Bu eşitlikte L_{50} teriminin birimi dBA olarak verilmiştir.

$$L_{50} = 11,9 * \log Q_{eq} + 31,4 \quad 2.22$$

Meskun mahallerdeki yollar ve otoyollar için taşıt sayısı 1.000 araç/saat değerinden az olan bölümlerde 2.23’de verilen ifade kullanılmaktadır. Bu eşitlikte de L_{50} teriminin birimi dBA’dır.

$$L_{50} = 15,5 * \log Q_{eq} - 10 * \log L + 36 \quad 2.23$$

Eşitlik 2.23’de bulunan L terimi, yol kenarında yüksek katlı binaların bulunduğu şehir içi yollarda, yol kenarından, ölçüm noktasına olan mesafedir. L teriminin birimi metre cinsinden modele girilmelidir. Tüm diğer modellerde ifadenin basitleştirilmesi noktasında eşdeğer ses seviyesi birimi cinsinden hesaplanması durumunda istatistik trafik gürültüsü modeli Eşitlik 2.24’deki şekilde ifade edilmelidir.

$$L_{eq} = A * \log Q * \left[1 + \frac{P}{100} * (n - 1) \right] + b * \log(d) + C \quad 2.24$$

Bilindiği üzere ağır taşıtlar hafif taşıtlardan daha güçlü ses oluştururlar. Eşitlik 2.24’da bulunan n terimi ağır taşıtların akustik eşdeğeri olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle bir ağır taşıtın oluşturduğu akustik enerji değerini oluşturabilecek hafif taşıt sayısı olarak tanımlanabilir. Ayrıca eşdeğer trafik akışı terimi olan Q_{eq} Eşitlik 2.25’de gösterildiği şekliyle hesaplanabilmektedir.

$$Q_{eq} = Q * \left[1 + \frac{P}{100} + (n - 1) \right] \quad 2.25$$

Eşitlik 2.24'da bulunan A, b ve C terimleri katsayıları ifade etmektedirler ve çalışma yapılan alan için belirlenmektedirler. Lineer regresyon metodu ile farklı trafik akışları ve farklı mesafeler için çok sayıda eş değer ses seviyesi değeri bulunabilir.

2.8.2 İngiliz modeli, CoRTN prosedürü

CoRTN modeli (Calculation of Road Traffic Noise) 1975 yılında Birleşik Krallık Ulaştırma ve Yol Araştırmaları Laboratuvarı ve Ulaştırma İdaresi tarafından oluşturulmuştur. Model 1988 yılında modifiye edilmiştir (Department of Transport UK, 1988). Bu model 1 ve 18 saatlik referans zamanlarda L_{10} ses seviyesi kullanarak tahminleri gerçekleştirir. Söz konusu ses seviyesi otoyol kenarından 10 metre referans uzaklıkta belirlenir. Bu modelde dikkate alınan parametreler; trafik akışı ve kompozisyonu, ortalama hız, yolun eğimi ve yol yüzeyinin türüdür. Bu modelde kullanılan başlıca hipotezler orta kuvvette rüzgar ve yol yüzeyinin kuru olmasıdır. CoRTN prosedürü 5 adet alt işlem basamağına sahiptir. Bu basamaklar;

- 1) Yol sathını, ses seviyesinin 2 dBA'dan daha az ses seviyesine sahip bir veya daha fazla parçaya bölünmesi.
- 2) Her parça için yol kenarından 10 metre uzaklık için temel ses seviyesinin hesaplanmasıdır. Bu hesaplamalar hıza, trafik akışına ve kompozisyonuna bağlıdır. Trafik çizgisel bir kaynak olarak ifade edilir. Ayrıca bu çizgisel kaynağın yol yüzeyinden 0,5 metre yükseklikte ve yol kenarından 3,5 metre uzakta olduğu kabul edilmesi,
- 3) Her parça için kaynak hattından mesafe ve azalma dikkate alınarak ses seviyesi değerlendirilir.
- 4) Ses seviyesi aşağıdaki parametreler dikkate alınarak ayarlanır.

a) Bina ve diğer yüzeylerden meydana gelen yansımalar ve yolun diğer tarafındaki yansımalar,

b) Kaynak parçasının boyu (bakış açısı)

5) Tüm parçaların ses seviyelerini alıcıda birleştirmek,

şeklinde olup temel saatlik ses seviyesi, yol kenarından 10 metre mesafede tahmin edilir. Tahminde Eşitlik 2.26 kullanılır. $L_{10}(1h)$ ifadesinin birimi dBA'dır.

$$L_{10}(1h) = 42,2 + 10 * \log(q) \quad 2.26$$

18 saatlik temel ses seviyesi ise Eşitlik 2.27 ile tespit edilir. $L_{10}(18h)$ ifadesinin birimi dBA'dır.

$$L_{10}(18h) = 29,1 + 10 * \log Q \quad 2.27$$

Eşitlik 2.26 ve Eşitlik 2.27'de bulunan q ve Q terimleri sırasıyla 1 saatlik trafik akışı (araç/saat) ve 18 saatlik trafik akışı (araç/saat) olarak ifade edilir. Buradaki temel hız $v=75\text{km/h}$, ağır taşıt yüzdesi $P=0$ ve yol eğimi $G=0\%$ olarak kabul edilmektedir. Kaynak hattı yol kenarından 3,5 metre uzaklıkta ve 5 metreden daha az parçalar halinde olduğu kabulleri yapılmaktadır. Sonradan ses seviyesi, ortalama trafik hızı, ağır taşıt yüzdesi ve yol eğimi ile düzeltilmektedir. Özellikle ağır taşıt ve hız düzeltmesi Eşitlik 2.28'de bulunan ifade ile yapılmaktadır.

$$\Delta_{pv} = 33 * \log\left(v + 40 + \frac{500}{v}\right) + 10 * \log\left(1 + \frac{5P}{v}\right) - 68,8 \quad 2.28$$

Eşitlik 2.28'de bulunan v terimi ortalama hız değeri olup modellenmesi planlanan yolun türüne bağlıdır. Ağır taşıt yüzdesi olan P terimi ise Eşitlik 2.29'de gösterildiği şekli ile hesaplanabilir.

$$P = \frac{100 * f}{q} = \frac{100 * F}{Q} \quad 2.29$$

Bu ifadeye; f ve F sırasıyla 1 saatlik ağıt taşıt akışı ve 18 saatlik trafik akışıdır. Eşitlik 2.28'de bulunan v terimi yolun eğimine bağlıdır. Özellikle eğimli yollarda trafik hızı Eşitlik 2.30'deki ΔV değeri kadar düşer. ΔV terimi Eşitlik 2.30'de gösterilmiştir. Bu eşitlikteki G ifadesi yol eğimini yüzde cinsinden ifade etmektedir.

$$\Delta V = \left[0,73 + \left(2,3 - \frac{1,15 * p}{100} \right) * \frac{p}{100} \right] * G \quad 2.30$$

Yol eğiminden kaynaklanan ses seviyesi düzeltmesi Eşitlik 2.31'da gösterilmektedir. Eşitlikteki ΔG ifadesinin birimi dBA'dır.

$$\Delta_G = 0,3 * G \quad 2.31$$

Trafik kaynaklı gürültü yol yüzeyiyle de alakalıdır. Aslında yollar için geçirimsiz ve Eşitlik 2.28'de kullanılan hızların 75km/saat değerinin üzerinde olduğu durumlarda temel ses seviyesinde düzeltme yapmak gerekebilir. Beton yüzeyler için yapılacak düzeltme;

$$\Delta_{TD} = 10 \log(90TD + 30) - 20$$

şeklindedir. Bitümlü kaplama kullanılan yol yüzeyleri için belirlenen düzeltme ise,

$$\Delta_{TD} = 10 \log(20TD + 60) - 20$$

şeklindedir. Düzeltme hesaplarında bulunan TD ifadesi yol kaplaması yüzey dokusunun derinliğini tarif eder. Trafik akış hızının 75 km/saat hız değerlerine eşit veya düşük olması durumunda kullanılacak düzeltme geçirimsiz bitümlü yüzeyler için;

$$\Delta_{TD} = -1$$

Diğer yol kaplama yüzey türleri için ise;

$$\Delta_{TD} = -3,5$$

şeklindedir. Düzeltme ifadelerinin birimi dBA'dır. Model yol kenarından 4 metreden daha fazla mesafedeki alıcı noktalar içinde düzeltme içermektedir. Buna göre düzeltme Eşitlik 2.32'deki şekilde ifade edilebilir.

$$\Delta_d = -10 * \log\left(\frac{d'}{13,5}\right) \quad 2.32$$

Burada d' alıcı ile kaynak arasındaki en kısa mesafeyi ifade etmektedir. Son düzeltme ise alıcı ile yol kenarı arasındaki zemin yapısı ile binalar, duvarlar gibi sesin yayılmasına engel olan faktörleri kapsar.

2.8.3 Alman modeli, RLS90

RLS 90 modeli (Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen), eski RLS 81 modelinin geliştirilmiş halidir (RLS, 1990). RLS 90 modeli bugün Almanya'da kullanılan en efektif tahmin modelidir. Modele girilmesi gereken veriler; motosiklet, ağır ve hafif taşıtların ortalama saatlik trafik akışı, her bir grup için ortalama hız değeri, yolun boyut, geometri ve kaplama tipi ve yapay veya doğal engellerdir. Modelin temel özelliği gürültü yayılmasını engelleyen, engeller, hava absorpsiyonu, yansımalar ve kırınımın dikkate alınmasıdır. Özellikle bu sayede gürültü azaltma elemanları (bariyerler vb.) ve kaynağın karşısındaki yüzeylerden yansımayı hesaba katılması mümkün olmaktadır. Bu model otoparklarda ses emisyonunun belirlenmesinde kullanılabilen bir modeldir. Modelin başlangıç noktası, yolun merkez hattının 25 metre uzağındaki ölçülebilir ortalama ses seviyesinin L_{mE} hesaplanmasına dayanır. Bu L_{mE25} değeri, saatlik araç akışının (Q) ve ağır taşıt (ağırlığı 2,8 tondan fazla taşıtlar) yüzdesinin (P), ideal koşullar (hızın 100 km/saat, yol eğiminin %5'in altında olduğu ve özel yol yüzeylerinde) altındaki fonksiyonudur. Analitik olarak L_{mE25} değeri Eşitlik 2.33'deki şekilde ifade edilebilir.

$$L_{mE}^{25} = 37,3 + 10 * \log[Q * (1 + 0,082 * P)] \quad 2.33$$

Modelin diğ er adımı ise; ideal koş ullardan olan sapmaların tespit edilmesidir. Bu sapmalar, gerçek araç hız ları, yolun mevcut eğ imi, yol yüzeyinin gerçek malzemesi gibi sapma de ğ iş kenlerden kaynaklanır. Özellikle düzeltmelerde gündüz (06:00-22:00) ve gece (22:00-06:00) zaman dilimleri kullanılmaktadır. Daha sonra her bir ortalama seviye (L_m) dBA cinsinden Eş itlik 2.34'daki şekilde hesaplanır.

$$L_m = L_{mE}^{25} + R_{SL} + R_{RS} + R_{RF} + R_E + R_{DA} + R_{GA} + R_{TB} \quad 2.34$$

Eş itlik 2.34'deki R_{SL} hız limitleri, R_{RS} yol yüzeyi, R_{RF} yol profili, R_E bina yüzeyi absorpsiyon, R_{DA} alıcı ve kaynak arasındaki mesafeden kaynaklanan hava absorpsiyonu, R_{GA} atmosferik ve zemin koş ullarından kaynaklanan, R_{TB} topografya ve bina geometrisinden kaynaklanan düzeltmeleri ifade etmektedir.

Bu kapsamda RLS90 modelindeki terimlerin açıklamalarının bulunduğu tablo Çizelge 2.5'de verilmiştir.

RLS90 modelindeki ana denklemde bulunan hız limitleri düzeltmesi aşağıdaki Eş itlik 2.35'te gösterildiğ i şekilde hesaplanmaktadır.

$$R_{SL} = L_{Pkw} - 37,3 + 10 * \log\left(\frac{100 + (10^{0,1 * D} - 1) * P}{100 + 8,23 * P}\right) \quad 2.35$$

Ayrıca alt terimler Eş itlik 2.36'de gösterildiğ i şekilde hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} L_{Pkw} &= 27,7 + 10 * \log[1 + (0,02 * v_{Pkw})^3] \\ L_{Lkw} &= 23,1 + 12,5 * \log(v_{Pkw}) \\ D &= L_{Lkw} - L_{Pkw} \end{aligned} \quad 2.36$$

Çizelge 2.5. RLS90 modelindeki terimlerin açıklamaları

Terim	Açıklama
R _{SL}	Hız limitleri düzeltmesi
R _{RS}	Yol yüzeyi düzeltmesi (Bu ifade modelde bir tablo halinde verilmektedir. Verilen tabloda araç hızları ile yol yüzeyine bağlı olarak düzeltme değeri tespit edilmektedir. Düzeltme değeri 0 dB ile 6 dB arasındadır.)
R _{RF}	Yol boyunca bulunan yol profilinin değişimi ile ilgili düzeltme
R _E	Bina yüzeylerinin absorpsiyon karakteristikleri ile ilgili düzeltme
R _{DA}	Alıcı ile kaynak arasındaki mesafeden kaynaklanan hava absorpsiyonu kaynaklı azalma ile ilgili düzeltme
R _{GA}	Atmosferik ve zemin koşullarından meydana gelen azalma ile ilgili düzeltme
R _{TB}	Topografya ve bina geometrisinden kaynaklanan azalma ile ilgili düzeltme

Eşitlik 2.36'de bulunan L_{PKw} hafif taşıtlar için 30km/saat ile 130km/saat arasında belirlenen hız limiti, L_{Lkw} ağır taşıtlar için 30 km/saat ile 80 km/saat arasında belirlenmiş hız limit değerleridir. Her şerit için L_{mE25} değerinin değerlendirilmesi Eşitlik 2.37'de gösterildiği şekilde yapılmaktadır.

$$L_m = 10 * \log[10^{0,1*L_{m,n}} + 10^{0,1*L_{m,f}}] \quad 2.37$$

Eşitlik 2.37'de bulunan n terimi en yakın şeridi, f ise en uzak şeridi ifade etmektedir. Son olarak ses basınç seviyesi aşağıdaki şekilde verilmiştir. Eşitlik 2.38'deki K terimi trafik ışıkları ve diğer kavşaklardaki ses arttırma katsayısı olarak tanımlanmıştır.

$$L_r = L_m + K \quad 2.38$$

2.8.4 İtalyan CRN modeli

Günümüzde İtalya'da herhangi bir trafik gürültüsü modeli referans gösterilmemekle birlikte İtalyanlar tarafından C.R.N. (Consiglio Nazionale delle Ricerche) modeli (Canelli, 1983) ve bu modeli geliştiren Cocchi ve arkadaşları tarafından oluşturulan

tahmin modeli kullanılmaktadır (Cocchi vd., 1991). Bu model Alman standart RLS 90 modelinin modifikasyonu şeklindedir. RLS 90 modeli İtalyan yollarına göre adapte edilmiş, trafik akışı çizgisel kaynak olarak yolun ortasına yerleştirilmiştir. Bu modele göre eşdeğer ses seviyesi Eşitlik 2.39'da gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$L_{Aeq} = \alpha + 10 * \log(Q_L - \beta * Q_P) - 10$$

$$* \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \Delta L_V + \Delta L_F + \Delta L_B + \Delta L_S + \Delta L_G + \Delta L_{VB} \quad 2.39$$

Eşitlik 2.39'de bulunan ifadelerden; Q_L ve Q_P sırasıyla hafif ve ağır taşıt akışlarının bir saatlik değeri, d_0 25 metrelik referans mesafe, d yol kenarındaki gözlem noktası ile şerit merkezi arasındaki mesafeyi vermektedir. ΔL_V ortalama trafik akım hızı düzeltme ifadesidir. ΔL_V ifadesinin ortalama trafik akış hızına bağlı olarak değişimi Çizelge 2.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6. ΔL_V (dBA) ifadesinin ortalama trafik akış hızına bağlı olarak değişim

Ortalama Trafik Akış Hızı (km/saat)	ΔL_V (dBA)
30-50	0
60	+1
70	+2
80	+3
100	+4

ΔL_F ve ΔL_B sırasıyla, gözlem noktasının yakınındaki, yansıtıcı yüzey düzeltmesi (+2,5 dBA) ve ters taraftaki yansıtıcı yüzey düzeltmesi (+1,5 dBA) olarak açıklanmıştır. ΔL_S yolun sathi kaplaması sebebiyle yapılan düzeltmedir. Düzeltme değerleri Çizelge 2.7'de verilmiştir.

ΔL_G yol eğiminin %5'den fazla olması durumunda yapılan düzeltme olarak ifade edilmektedir. Düzeltme faktörü, %5'in üzerindeki her bir yüzdelik artış için +0,6 dBA'lık bir düzeltme gerekmektedir. ΔL_{VB} terimi ise yol üzerindeki trafik ışıkları için +1 dBA ya da yavaş akan trafik için -1,5 dBA olarak öngörülmüştür. Bütün

parametrelerin genel olarak ülkelere göre doğruluğu bulunmaktadır. Çünkü parametreler fiziksel faktörlere ve şehrin genel özelliklerine bağlıdır. Örnek olarak α ve β terimleri sırası ile ülkenin yolları ve ülkenin araç karakteristiklerine bağlıdır. α terimi tekil olarak aracın gürültü emisyonu ile ilgiliyken β terimi ağırlık faktörü ile ilgilidir. Bu durumda da ağır araçlar daha fazla gürültü emisyonu ortaya çıkarmaktadır. Örnek olması bakımından İtalya için α terimi 35,1 dBA ve β terimi 6 olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 2.7. Yolun sathi kaplamasına bağlı olarak ΔL_S değerindeki değişim

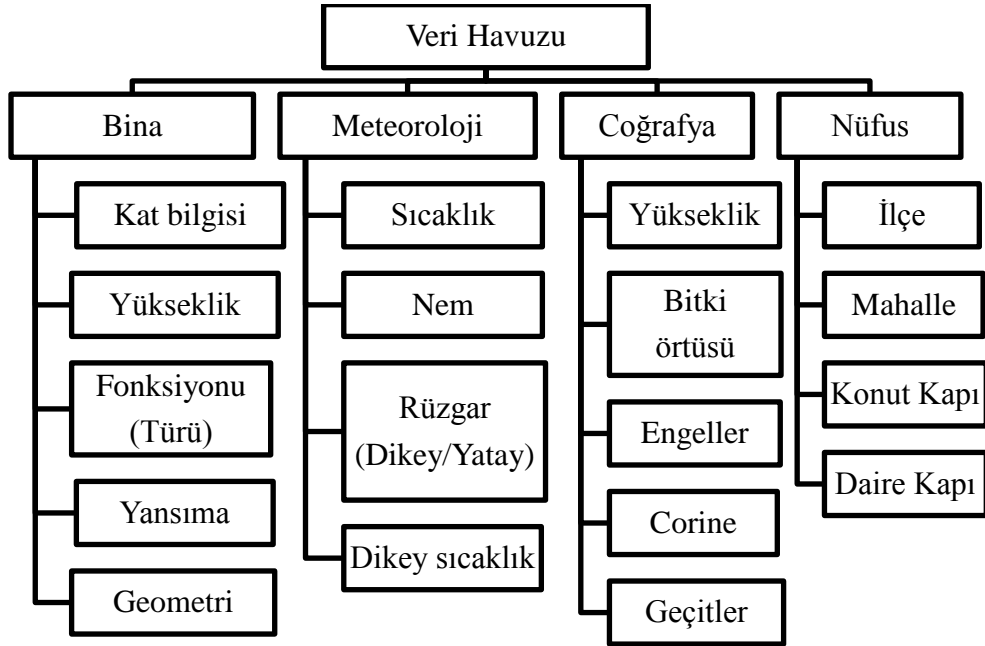
Yolun Sathi Kaplaması Türü	ΔL_S (dBA)
Pürüzsüz asfalt	-0,5
Kaba pürüzlü asfalt	0
Beton	+1,5
Kaba kaplama/döşeme	+4

3 MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışması kapsamında uygulanan veri temin ve analiz metotları ile gürültü tahmin modelinin oluşturulmasında kullanılan yazılım ve yazılımın hesaplamalarında baz alacağı standart irdelenmiştir.

3.1 Veri Temin ve Analiz Metotları

Gürültü tahmin modellerinin oluşturulması için bazı verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veri ihtiyacı kullanılacak standart gereklilikleri olabileceği gibi modelin oluşturulmasında yardım sağlayacak ek veriler olarak ortaya çıkmaktadır. Genel olarak oluşturulacak veri havuzunda; coğrafi ve topoğrafik veriler, bina bilgileri, nüfus verileri ve meteorolojik veriler olarak ortaya çıkmaktadır. Şekil 3.1'de veri örgüsü gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Gürültü tahmin modelleri veri örgüsü

3.1.1 Coğrafya verileri

Veri havuzunun oluşturulmasında en önemli veri seti coğrafya verileridir. Coğrafya verileri modelleme aşamasında ilk olarak yazılıma girilen veri olarak da önem arz etmektedir. Yükseklik verileri genel itibari ile ülkemizde iki farklı şekilde

bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi yükseklik noktası, bir diğeri ise eş yükselti eğrisi olarak kontur çizgileridir. Genel olarak şehirleşmiş alanlarda yükseklik noktalarına, kırsal kesimde ise kontur çizgilerine çok sıklıkla rastlanmaktadır. Bir diğeri yükseklik elde etme şekli ise SRTM verilerinden yükseklik verisinin elde edilmesidir.

Coğrafya kısmında incelenecek bir diğeri veri ise geçitler ve bunlar kapsamında incelenebilecek engellerdir. Bu kısım veriler şev şeklinde verilmiş yükseklik verilerini içermektedir. Özellikle yol üst ve alt geçitlerinin orta ve kenar noktalarının yüksekliklerinin verilmesi önemlidir.

CORINE (Coordination of Information on the Environment) zemin sınıflandırması, 1985 ila 1990 yılları arasında Avrupa komisyonu tarafından yürütülmüş ve metodoloji geliştirilmiş, arazi örtüsü ile ilgili bilgilerin bulunduğu bir veri tabanı olarak tanımlanabilir. Tez kapsamında CORINE zemin sınıflandırması kullanılmıştır. CORINE zemin sınıfı temel başlıkları Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Bu kapsamda tez çalışmasında kullanılan CORINE zemin sınıflandırması ve buna bağlı olarak kullanılan yutuculuk katsayıları Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Bina verileri coğrafya verilerinin üzerine eklenen verilerdir. Binaların türlerinin belirlenmesi önemlidir. Bu kapsamda temel olarak binalar; konut, okul, hastane, dini tesis, ticari bina olmak üzere sınıflandırılmalıdır. Bu sınıflandırma CBS ortamından direkt olarak alınabileceği gibi veri tabanına sonradan da eklenebilmektedir. Tez çalışmasında bina türleri POI olarak arazide tespit edilmiş daha sonra bina veri tabanı içerisine eklenmiştir.

Çizelge 3.1. CORINE arazi sınıflandırması temel başlıkları

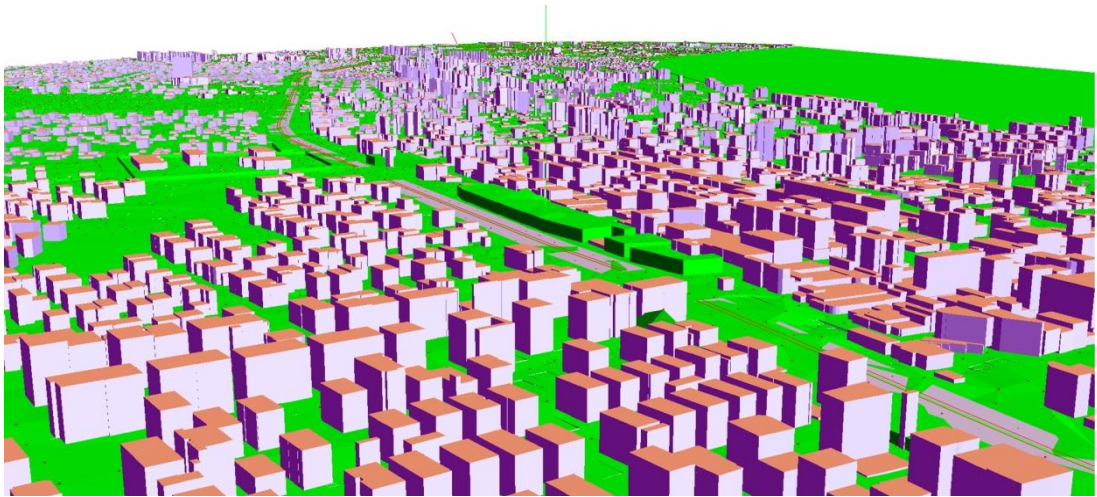
Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Izgara Kodu	RGB
1. Yapay Yüzeyler	1.1 Şehir dokusu	1.1.1 Kesintisiz şehir dokusu	1	230-000-077
		1.1.2 Kesintili şehir dokusu	2	255-000-000
	1.2 Endüstriyel, ticari ve taşımacılık birimleri	1.2.1 Endüstriyel veya ticari birimler	3	204-077-242
		1.2.2 Karayolu, demiryolu ağı ve bağlantılı alanlar	4	204-000-000
		1.2.3 Liman bölgeleri	5	230-204-204
		1.2.4 Havalimanları	6	230-204-230
	1.3 Maden, çöp ve inşaat sahaları	1.3.1 Maden çıkarma alanları	7	166-000-204
		1.3.2 Çöplük alanları	8	166-077-000
		1.3.3 İnşaat sahaları	9	255-077-255
		1.4 Yapay, tarımsal olmayan dikili alanlar	1.4.1 Yeşil şehir alanları	10
2. Tarım Alanları	2.1 Ekilebilir alanlar	1.4.2 Spor ve dinlenme faaliyetleri	11	255-230-255
		2.1.1 Sulanmayan ekilebilir alanlar	12	255-255-168
		2.1.2 Sürekli sulanan alanlar	13	255-255-000
		2.1.3 Pirinç tarlaları	14	230-230-000
	2.2 Kalıcı ürünler	2.2.1 Bağlar	15	230-128-000
		2.2.2 Meyve ağaçları ve dutluklar	16	242-166-077
		2.2.3 Zeytinlikler	17	230-166-000
	2.3 Otlaklar	2.3.1 Otlaklar	18	230-230-077
	2.4 Heterojen tarım alanları	2.4.1 Yıllık ekilen alanlar ile birlikte olan sürekli ekilen alanlar	19	255-230-166
		2.4.2 Kompleks tarımsal yetiştiricilik alanları	20	255-230-077
3. Ormanlar ve yarı doğal alanlar		2.4.3 Tarımsal alanlar ile doğal bitki bulunan alanlar	21	230-204-077
		2.4.4 Tarımsal amaçlı ağaç yetiştiriciliği alanları	22	242-204-166
	3.1 Ormanlar	3.1.1 Geniş yapraklı ağaç ormanları	23	128-255-000
		3.1.2 Kozalaklı ağaç ormanları	24	000-166-000
		3.1.3 Karışık ağaç türlerinin bulunduğu ormanlar	25	077-255-000
	3.2 Bodur ve otsu bitkilerin bulunduğu alanlar	3.2.1 Doğal yeşillik alanları	26	204-242-077
		3.2.2 Fundalıklar	27	166-255-128
		3.2.3 <i>Sclerophyllous</i> bitki örtüsü	28	166-230-077
		3.2.4 Ormanlık ve çalılık alanlar	29	166-242-000
	3.3 Az veya hiç bitki örtüsü bulunmayan açık alanlar	3.3.1 Plaj, kum tepeleri	30	230-230-230
4. Sulak Alanlar		3.3.2 Çıplak kayalıklar	31	204-204-204
		3.3.3 Seyrek bitki bulunan alanlar	32	204-255-204
		3.3.4 Yanmış alanlar	33	000-000-000
		3.3.5 Buzullar ve sürekli karlı alanlar	34	166-230-204
	4.1 Sulak Alanlar	4.1.1 Kara içi bataklıklar	35	166-166-255
		4.1.2 Turba bataklıkları	36	077-077-255
	4.2 Deniz ortamı sulak alanları	4.2.1 Tuz bataklıkları	37	204-204-255
		4.2.2 Tuzlalar	38	230-230-255
		4.2.3 Gelgit alanları	39	166-166-230
	5. Su Gövdeleri	5.1 İç Sular	5.1.1 Su kıyıları	40
		5.1.2 Su gövdeleri	41	128-242-230
5.2 Liman suyu		5.2.1 Sahil gölleri	42	000-255-166
		5.2.2 Haliçler	43	166-255-230
		5.2.3 Deniz ve okyanuslar	44	230-242-255
Bilgi Yok	Bilgi yok		48	
	Bilgi yok		49	
	Bilgi yok		50	230-242-255

Çizelge 3.2. Tezde kullanılan CORINE sınıflandırması ve yutuculuk katsayısı

Seviye	Değer
1. Seviye	1. Yapay Yüzeyle
2. Seviye	1.1. Şehir Dokusu
3. Seviye	1.1.1. Kesintisiz Şehir Dokusu
R.G.B.	230-000-077
ABS	0,10
Hard	1

3.1.2 Bina verileri

Binalara ait kat bilgileri ve yükseklik değerleri oluşturulan modelin sayısal arazi modeli üzerinde boyutlandırılmasında kullanılmaktadır. Bu durumda yükseklik verilerinin arazi üzerinden hesaplanmış değerler veya deniz seviyesinden hesaplanmış bina üst kotu değerleri olduğunun bilinmesi önemlidir. Ayrıca kat yüksekliklerinin verilmesi durumunda ise bir katın yüksekliğinin ne olması gerektiği tanımlanmalıdır. Tez çalışmasında bina üst noktaları kotlarından yararlanılarak boyutlandırma yapılmıştır. Şekil 3.2'de boyutlandırılmış olarak tez alanından bir görünüm verilmiştir.



Şekil 3.2. Tez alanının boyutlandırılmış bir görüntüsü

3.1.3 Nüfus verileri

Nüfus verileri yazı formatında veriler olup bina veri tabanına ek olarak girilmektedir. Nüfus verileri bilindiği üzere dinamik verilerdir. Bu sebeple tez çalışması kapsamında 2014 yılına ait nüfus istatistikleri kullanılmıştır. Nüfus çözünürlüğü, açık veri tabanlarını baz alan kaynaklardan elde edildiği halde mahalle bazındadır. Bu sebeple bina ve daire bazında nüfus verisinin elde edilmesi optimum değildir. Bu sebeple tez çalışması kapsamında mahalle nüfusu bazında çözünürlükteki veri tabanları, açık kaynaklardan toplanmıştır.

Tez çalışmasında belirlenen alan içerisinde kalan mahallerin nüfus ve yüzölçümleri Çizelge 3.3'de verilmiştir. Bu kapsamda çalışmadaki alandaki toplam nüfus 206.848 kişi ve çalışma alanında giren mahallelerin toplam yüzölçümü 46,07 km² olarak tespit edilmiştir. Tez alanına giren toplam yüzölçümü yaklaşık olarak 22,15 km² olarak öngörülmüştür.

Çizelge 3.3. Tez çalışma alanındaki nüfus ve yüzölçümü verileri

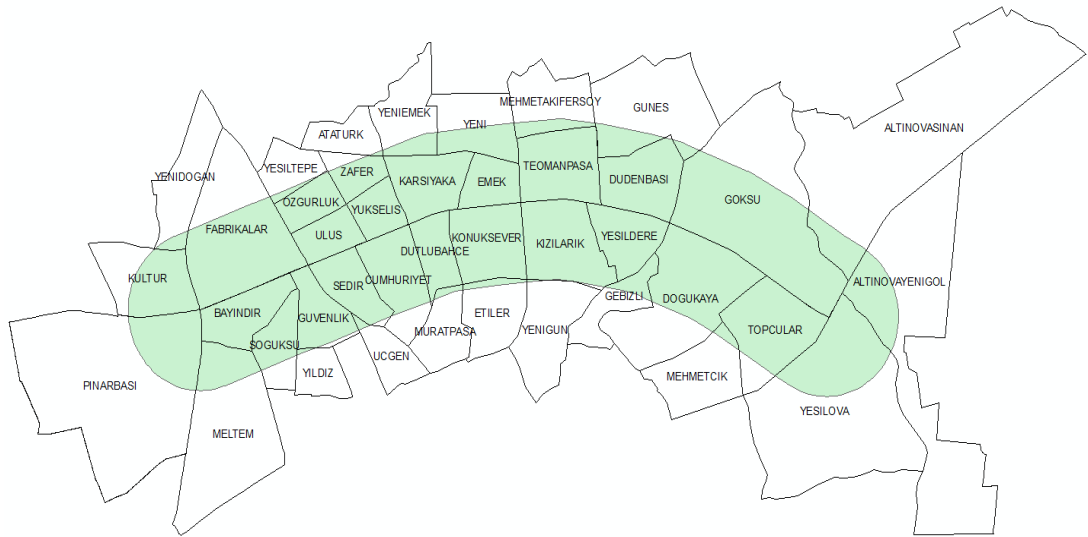
Mahalle	Toplam Nüfus	Tez Alanındaki Nüfus	Toplam Yüzölçümü (km ²)	Tez alanı Yüzölçümü (km ²)
Konuksever	16.760	16.760	0,91	0,91
Guvenlik	13.694	13.694	0,56	0,56
Ulus	12.944	12.944	0,42	0,42
Ozgurluk	12.204	12.204	0,40	0,40
Meltem	12.169	6.500	0,21	0,05
Etiler	11.484	2.150	0,73	0,07
Ucgen	11.129	2.000	0,44	0,02
Gunes	10.876	3.000	1,69	0,29
Yesiltepe	10.173	2.100	0,45	0,05
Muratpasa	10.030	1.375	0,59	0,03
Cumhuriyet	9.823	7.485	0,89	0,66
Dudenbası	9.804	9.804	0,89	0,89
Soguksu	9.759	7.300	0,54	0,36
Teomanpasa	9.539	9.539	0,97	0,97
Pınarbası	9.017	3.650	4,35	1,09
Kızılarık	8.727	8.727	1,09	1,09
Sedir	8.483	8.483	0,58	0,58
Mehmetakifersoy	8.479	3.657	0,83	0,17
Karsiyaka	8.386	8.386	0,76	0,76
Dutlubahce	8.231	8.231	0,47	0,47
Kultur	8.054	6.217	1,05	0,74
Bayındır	7.850	7.850	0,67	0,67
Yeniemek	7.687	2.876	0,82	0,16
Yükselıs	7.681	7.681	0,40	0,40
Zafer	7.585	6.689	0,37	0,28
Emek	5.508	5.508	0,46	0,46
Fabrikalar	5.441	3.839	2,14	1,49
Yenıdogan	5.378	985	0,89	0,07
Yesıldere	5.324	5.324	0,66	0,66
Goksu	4.586	3.720	3,50	2,80
Altınovasınan	4.284	720	5,17	0,16
Gebızlı	4.205	2.500	0,55	0,18
Yesilova	3.253	1.573	3,74	1,23
Dogukaya	2.012	1.800	2,00	1,60
Altınovayenıgol	1.842	475	3,74	0,37
Mehmetcık	1.408	445	0,94	0,08
Topcular	796	657	1,20	0,96
Toplam	294.605	206.848	46,07	22,15

3.1.4 Meteorolojik veriler

Meteorolojik veriler genel olarak açık kaynaklardan temin edilebilmektedir. Bu kapsamda hava sıcaklığı ve ortalama bağıl nem verileri tüm tez alanı için aynı alınmış olup rüzgar verileri hakim rüzgar yönü ve şiddeti olarak modele girilmiştir. 20°C ve %70 bağıl nem olarak hesaplamalara dahil edilmiştir. Dikey rüzgar verileri ise ülkemizde şehirleşmiş alanlar için ayrı olarak bulunmamaktadır. Bu bağlamda dikey rüzgar verileri tez alanında dikkate alınmamıştır.

3.1.5 Veri analiz metotları

Antalya, sanayi ve gelişmiş turizmin etkisinden dolayı şehir gürültüsü ile şehir içi trafik yoğunluğu ve şehrin konumu itibariyle şehirlerarası pek çok yolu birbirine bağlaması nedeniyle oluşan ulaşım gürültüsünün iç içe olduğu bir ildir. Çalışma alanı olarak Antalya şehrinde bulunan Gazi Bulvarının seçilmiş 10 km'lik kısmı, yol orta çizgisinden kuzey ve güney yönlerine doğru 1.000'er metre derinliğinde bir alan oluşturulacak şekilde belirlenmiştir. Bu alan tampon bölge (buffer alan) olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3.3'de belirlenen tampon bölge gösterilmektedir. Belirlenen bu tampon alanda yoldan kaynaklanan sesin yayıldığı kabulü yapılmıştır. Söz konusu çalışma alanı kavşak noktaları koordinatları WGS84 projeksiyonunda Çizelge 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Tez çalışma alanı tampon bölgesi

Çizelge 3.4. Tez alanı kavşak noktaları ve koordinatları

Kavşak No	Kuzey (°)	Doğu (°)
1	36,901263	30,665285
2	36,906321	30,682353
3	36,910903	30,697975
4	36,913210	30,715426
5	36,910746	30,738611
6	36,900047	30,762973

Teze konu yolda trafik sayımları gerçekleştirilmiştir. Trafik sayımlarında Çizelge 3.4'de yerleri belirtilen noktalara video kameralar konulmuş ve günün gündüz, akşam, gece zaman dilimlerinin temsil edecek kayıtlar yapılmıştır. Yapılan video kayıtları 30 dakikalık süreler ile kaydedilmiştir. Bu kayıtlar daha sonra bilgisayar üzerinde yavaş oynatma hızında izlenmiş ve kayıt süresince geçen araçlar ağır ve hafif araçlar başlıkları altında tasniflenmiştir.

Ülkemizde çeşitli kurumlar kendi görev sahaları itibari ile karayolunda seyreden araçları tasniflemişlerdir. Ancak tez çalışması kapsamında gürültü haritalarının veri ihtiyacı ve veri analizinde karşılaşılabilecek çelişkilerin önüne geçilmesi için araç tasnif işlemi oluşturulan metoda göre yapılmıştır.

Araçların tasnifinde binek araçlar ve kapalı kasa kamyonetlerden binek tipli olanlar hafif araçlar, kapalı kasa kamyonetlerden binek tipi olmayanlar ve üstü araçlar ağır araçlar olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmada kullanılan prosedür Çizelge 3.5'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.5. Araç sınıflandırmasında kullanılan prosedür

Araç Tipi	Kabul Edilen Sınıf	Açıklamalar
Bisiklet	Tanımsız	Bisiklet ve elektrikli bisikletler sayım kapsamı dışında tutulmuştur.
Motosiklet	Hafif araç	İki ve üç tekerlekli motosikletler ile dört tekerlekli ATV'ler
Binek otomobil	Hafif araç	İki, dört kapılı binek araçlar, sedan, hatchback ve station binek otomobiller
Kapalı kasa kamyonet (binek)	Hafif araç	Kapalı kasa kamyonetlerden binek tipte olanlar, video kayıtlarında kasa kısmı camlı olan araçlar.
Kapalı kasa kamyonet (yük)	Ağır araçlar	Kapalı kasa kamyonetlerden yük taşıma için kullanılanlar, video kayıtlarında kasa kısmında cam olmayan araçlar
Kamyonet	Ağır araç	-
Kamyon	Ağır araç	-
Tır ve çekiciler	Ağır araç	-
Minibüs	Ağır araç	-
Midibüs	Ağır araç	-
Otobüs	Ağır araç	-
Traktör	Ağır araç	-
Ekskavatör	Ağır araç	-
Paletli iş makineleri	Ağır araç	-
Lastik tekerli iş makineleri	Ağır araç	-

Yılın her günü sayım yapmak mümkün olmadığı için kısa süreli sayımlardan elde edilen ortalama günlük veriler Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan mevsimsel faktörler “k” faktörü Yönsel Dağılım dokümanı kapsamında yıllık ortalama günlük trafik değerine dönüştürülmüştür (KGM, 2009).

Bu noktada “k” değeri önem arz etmektedir. Bu değer, OGT (Ortalama Günlük Trafik) değerinden yola çıkarak saatlik araç sayısının hesaplanmasında kullanılmaktadır. “k” değeri ile “OGT” değerinin çarpımı sonucu saatlik araç sayısı

bulunmaktadır. Ülkemizde “k” değerinin tespitini Karayolları Genel Müdürlüğü yapmaktadır. Trafik sayım cihazları ile belirli yol kesimlerinde yapılan uzun süreli sayımlar baz alınarak hesaplanmaktadır. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yapılan, “k” değerinin belirlenmesine ilişkin sayımlarda yollar önceden belirlenmiş sınıf veya bölgelere göre yapılmaktadır. Bu bölgeler kırsal veya kentsel alanlar olarak ayrılabilir. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan “k” değerleri tablosunda 2008 yılı için Antalya İli ve yakın çevresindeki yol kesimleri için belirlenen değerler Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Antalya İli yakın çevresi yol kesimleri için k değerleri (KGM, 2009)

Bölüm	Ölçüm Süresi, sa	Saatlik Trafik	k değeri	Tarih	Zaman Dilimi	YOGT
400-12	30	1.351	0,100	18.07.2008	18:00-19:00	13363
	50	1.335	0,099	04.07.2008	17:00-18:00	
	100	1.305	0,097	13.08.2008	17:00-18:00	
	200	1.257	0,093	14.08.2008	16:00-17:00	
650-13	30	843	0,112	18.08.2007	11:00-12:00	7478
	50	783	0,104	30.06.2007	11:00-12:00	
	100	718	0,095	01.07.2007	13:00-14:00	
	200	640	0,085	06.08.2007	11:00-12:00	
400-04	30	633	0,109	11.08.2007	19:00-20:00	5794
	50	614	0,106	11.08.2007	11:00-12:00	
	100	586	0,101	09.07.2007	11:00-12:00	
	200	556	0,096	05.09.2007	17:00-18:00	

Trafik sayımları mümkün olduğu sürece zaman dilimlerinin trafik akışı bakımından pik saatlerinde yapılmıştır. Pik saatler günlere göre değişmekte beraber genel itibari ile gündüz zaman diliminde mesai başlama saatlerinden 30 dakika öncesi ile öğleden sonra mesai çıkış saatleri, akşam zaman diliminde ise gündüz zaman dilimine yakın olan saatler ile sonrasındaki bir saatlik dilim ve gece zaman dilimi için akşam zaman diliminin bittiği saatler ile gündüz zaman diliminin başlamasından bir saat önceki zaman dilimi olarak kabul edilmiştir.

Ancak bu noktada insan davranışları önemli olmakla birlikte bir çok değişken bulunmaktadır. Pik saatlerin tespit edilmesi uzun yıllar süren çalışmalar neticesinde belirlenmektedir. Bu durumda bile yol güzergahı, yol kaplaması ve benzeri fiziksel

koşulların değişmesi, yol boyunca yapılaşmanın sayısal bakımdan artması veya sosyal yapının değişmesi ile İdarelerin yeni kuracağı sosyal donatı alanlarının oluşması trafik akış karakteristiğini değiştirmektedir. Bu noktada yapılan sayımların yolu kullanan araç sayılarını kesin olarak bulması veya sınıflandırması gürültü modelleri için bir ön şart değildir. Ancak yolun akım karakteristiğinin tespit edilmesine yetecek kadar kesin sonuçlar bulunması önem arz etmektedir. Zira bir yol kesitinden geçecek araç sayısı yılın tüm zaman dilimlerinde birbirinden farklı olacaktır.

Yıllık ortalama günlük trafik verisi hesaplanırken her bir yol parçası belirlenen kavşak noktaları arasında kalacak şekilde düşünülmüş ve modellenmiştir. Tez kapsamında yapılan araç sayım planları Şekil 3.4'de şematik olarak gösterilen grafik baz alınarak planlanmıştır.



Şekil 3.4. Araç sayımı kapsamında sayım noktaları ve kavşak noktaları

Bu plana göre yol kesimi 6 adet ana parçaya ayrılmıştır. Ayrılan parçaların başlangıç ve bitiş noktalarında yolları birbirine bağlayan kavşakların bulunmasına özen gösterilmiştir. Özellikle kavşaklarla ayrılan yolların uzun ve yol boyunca fazla sayıda küçük yan yolun bulunduğu, araç giriş ve çıkışının çok olduğu yol kesimlerinde, ölçüm noktaları yol kesiminin başında ve sonunda olmak üzere seçilmiştir. Böylece yoldan çıkan veya yola giren araçların sayılarının da sayım sonuçlarına etkisi dikkate alınmıştır. Veri analiz ve temin tablosu Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Veri analiz ve temin özeti

Veri	Olası Veri Kaynakları	Kullanılan Veri Kaynağı	Prosedür	Açıklama
Bina	Belediyelerin imar bölümleri, Milli Eğitim Müdürlükleri, Sağlık Müdürlükleri, Aile ve Sosyal Politikalar Müdürlükleri, 112 Merkez Müdürlükleri, Tıbbi Atık taşıyıcıları, Meslek Odaları veri tabanları, Google Earth ve Google Maps veri tabanları, Saha çalışmaları	Saha çalışmaları, belediyelerin imar müdürlükleri, Google Earth ve Google Maps veri tabanı.	Yazışmalar ile belediyelerden sayısal verinin alınması, Google Earth ve saha çalışmaları ile ek veri üretilmesi ve format dönüşümü yapılması.	NetCAD (.ncz) ve Google Earth (.kmz ve .kml) formatlarından ArcGIS (.shp) formatlarına dönüşüm yapılması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca metin bazlı veri sahada sayısallaştırılmış coğrafi veri tabanına eklenmiştir.
Topografya	Belediyelerin imar bölümleri, Harita Genel Komutanlığı, NASA SRTM verileri, saha ölçümleri	Belediyelerin imar müdürlükleri yayınları ve SRTM veri tabanı, Saha ölçümleri ile geçit ve engeller modellenmiştir.	Yazışmalar ile belediyelerden sayısal zemin modeli temin edilmiştir. Ayrıca çalışma bölgesindeki eksik veriler SRTM veri tabanından elde edilen veriler ile doldurulmuştur.	NetCAD (.ncz) formatından ArcGIS (.shp) formatına dönüşüm yapılmış ve veri kayıpları oluşmuş. Yükseklik verileri tekrar düzenlenmiştir. SRTM verileri açık kaynaklardan temin edilmiş, Spatial analiz ile yükseklik noktasına çevrilmiştir.
Karayolu	Belediyelerin ulaşım bölümleri, Karayolları Bölge Müdürlükleri, Google Earth, Google Maps veri tabanları, saha çalışmaları	KGM yayınları, Google Earth ve Google Maps veritabanları, saha çalışmaları	KGM açık kaynaklarından elde edilen veriler, saha ölçümleri, yol geometrisi için Google Earth ve Google Maps veri tabanları kullanılmıştır.	Google Earth (.kmz, .kml) formatlarından ArcGIS (.shp) formatına dönüşüm yapılmış, Metin formatındaki veriler coğrafi veri tabanına eklenmiştir. Saha ölçümleri ile sanat yapıları boyutlandırılmıştır.

Tez çalışmasında, Çizelge 3.7'de görüleceği üzere, genel olarak açık veri tabanları ve açık kaynaklar kullanılmıştır. Belediyelerden elde edilen bilgiler ise Stratejik Gürültü Haritası oluşturulması kapsamında TÜBİTAK MAM ve Antalya Büyükşehir Belediyesi arasında imzalanan protokol kapsamında oluşturulan verilerden bir kısmı, Antalya Büyükşehir Belediyesinden alınan izin uyarınca, tez inceleme alanı ihtiyaçlarına göre yeniden üretilmiştir.

Gürültü tahmin modellerinin ihtiyaç duyduğu veriler, günümüzde teknolojik gelişmeler ve coğrafi bilgi sistemlerinin yaygınlaşması ile açık veri tabanlarından rahatlıkla temin edilebilmektedir.

3.2 NMPB Routes 96 Standartı ve Hesaplama Yöntemleri

Tez kapsamında oluşturulan senaryolar NMPB Routes 96 standardı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu noktada NMPB Routes 96 standardının ayrıntılı şekilde irdelenmesinin faydalı olacağı, hesaplama metodunun anlaşılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. NMPB Routes 96 standardı meteorolojik etkileri de hesaplamalarda dikkate alan Fransa kökenli bir trafik gürültüsü hesaplama ve tahmin metodudur.

2002/49/CE sayılı Avrupa Birliği Çevresel Gürültü Direktifi, trafik kaynaklı gürültünün tahmin edilmesi için NMPB (Nouvelle Methode de Prevision de Bruit) modelinin kullanılması tavsiye edilmektedir. (European Parliament and Council, 2002). NMPB modelinin oluşturulmasında çeşitli Fransız kurumları (CSTB, SETRA, LCPC, LRPC) çalışmışlardır. NMPB 1980 yılında çalışılmış Guide de Bruit baz alınarak geliştirilmiş olup ISO 9613 standardında da öngörüldüğü gibi meteorolojik koşulları ve uzun mesafeleri (250 metreden büyük) dikkate alıp modelleyebilme kabiliyetine sahiptir (NMPB-Route96). Günümüzde trafik gürültü modellemesi yapılmasında ve ticari model programlarında en fazla kullanılan modeldir. 2000 yılında bir Fransız kurumu olan SETRA'nın isteği üzerine model üzerinde revizyona gidilmiş ve NMPB Routes 96 modeli NMPB Routes 2008 olarak revize edilmiştir.

Model sesin ışınlar halinde yayılım gösterdiği yollar konseptine dayanır. Kaynak ve alıcı arasında birkaç yayılım yolu mevcuttur. Bu yayılım yolları topografyaya ve alıcı

ve kaynak arasındaki engellere bağlıdır. Bu yayılım yollarının her biri uzun dönem ses seviyesi ($L_{Ai,LT}$) ile ilişkilidir.

NMPB modeli, ISO 9613'de önerildiği gibi standart meteorolojik koşulları hesaplar ve uzun dönem öngörülerini ortaya koyar. Meteorolojik koşullar iki tipte karşımıza çıkmaktadır. Birincisi ISO 9613'de açıklandığı gibi sesin yayılmasına elverişli koşullar ve eski nesil Fransız standartlarında olduğu gibi homojen akustik koşullardır. Her bir ses yayılım yolu için uzun dönem tahmin seviyeleri $L_{Ai,LT}$, iki duruma karşılık gelen terimler ekleyerek değerlendirilir.

$$L_{Ai,LT} = 10 * \log(p_i * 10^{(0,1*L_{Ai,F})} + (1 - p_i) * 10^{(0,1*L_{Ai,H})}) \quad 3.1$$

Eşitlik 3.1'de $L_{Ai,F}$ ve $L_{Ai,H}$ sırasıyla elverişli ve homojen koşullar için global değerlendirme seviyelerini, p_i ise elverişli koşulların oluşma olasılığını göstermektedir. Bu seviyeler kaynaktan alıcıya ulaşan her bir ses yayılım yolu için ve her bir oktav bandı için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Hesaplamalarda Eşitlik 3.2'deki eşitlikler kullanılmaktadır.

$$\begin{aligned} L_{Ai,F} &= L_{A,w} - A_{div} - A_{atm} - A_{grd,F} - A_{diff,F} \\ L_{Ai,H} &= L_{A,w} - A_{div} - A_{atm} - A_{grd,HF} - A_{diff,H} \end{aligned} \quad 3.2$$

Her bir ses yayılım yolu için 3 adet azalma terimi hesaplanmaktadır. Formüllerde aynı olarak kullanılan Geometrik yayılma (A_{div}), atmosferik absorpsiyon (A_{atm}) ve sınır azaltımı (A_{bnd}) yayılma koşullarına ve zemin etkisi (A_{grd}) ile kırılmaya (A_{diff}) bağlıdır. Ses gücü seviyesi $L_{A,w}$ saatlik akı dikkate alınarak değerlendirilir ve eşdeğer saatlik seviye dBA cinsinden belirlenmektedir. E terimi ise tek hafif veya ağır taşıt ile ilişkilidir. Bu prosedürde, yol üzerinde noktasal kaynağın akustik gücü kapsamında değerlendirilmektedir.

$$\begin{aligned} L_{A,wi} &= [(E_L + 10 * \log Q_L) + (E_p + 10 * \log Q_p)] + 20 + 10 \\ &\quad * \log(I_t) + R(j) \end{aligned} \quad 3.3$$

Eşitlik 3.3'de E_L ve E_p sırasıyla hafif ve ağır taşıtlar için emisyon seviyeleri, I_t metre cinsinden yol uzunluğu ve $R(j)$ ise CEN 1793-3 (1995) standardına yayılan

frekanslara göre hesaplanmış normalleştirilmiş gürültü spektrumunu ifade etmektedir. NMPB modelinin yaptığı tahminler çeşitli topografik ve meteorolojik koşullarda çok sayıda deneysel veri ile doğrulanmıştır. SETRA revizyon yapılmış NMPB Routes 2008 modelinin daha doğru sonuç verdiğini öngörmektedir. Ancak tez çalışması içerisinde NMPB Routes 2008 kesin halini alıp resmi olarak yayımlanmadığı için çalışmada modelleme NMPB Routes 96 metotlarına göre oluşturulmuştur.

NMPB Routes 96 standardı, gürültüsü modellenecek yolun şerit orta noktasından en fazla 800 metre uzaklıktaki hesaplama bölgelerindeki ve yol yüzeyinden en az 2 metre yükseklikteki ses seviyelerini hesaplamak için ayrıntılı bir prosedür tanımlı yapmaktadır. 2001 yılında meteorolojik parametreleri de içeren ayrıca sesin yayılımı esnasındaki ses azalım parametrelerini de hesaplayan XP S 31 – 133 Akustik – Yol ve Demiryolu Trafik Gürültüsü standardı Fransa tarafından yayımlanmıştır. Bu standart NMPB ile aynı hesaplama prosedürlerini kapsamaktadır. Modellemenin yasal alt yapısını oluşturan END Ek 2 bölümünde, ara hesaplama metotları olarak Fransız Ulusal Hesaplama Metodu NMPB Routes 96 ve Fransız standardı XP S 31-133 tavsiye edilmektedir.

Bu noktada NMPB Routes 96 standardının hesaplama prosedürlerinin incelenmesi ve END hükümlerine uygunluğunun tartışılması faydalı olacaktır.

3.2.1 Gürültü indikatörleri

NMPB Routes 96 standardı ve Fransız Standardı XP S 31 -133 de yolların kenarlarındaki yayılma bölgelerindeki ses emisyonlarını tanımlamak için temel nicelik olarak uzun dönemli eşit ve sürekli A ağırlıklandırılmış ses basınç düzeyleri tanımlanmıştır. Bir gün iki zaman periyoduna ayrılmıştır. Bu zaman periyotları; gündüz (06:00 – 22:00) ve gece (22:00 – 06:00) olmak üzere iki kısma ayrılmıştır.

Uzun dönem eşit ses seviyesi yıl boyunca trafik akışı ve hakim olan meteorolojik koşulları (rüzgar hızının dikey gradyanı ve sıcaklığın dikey gradyanı) dikkate alınarak hesaplara dahil edilmektedir. Uzun dönem ortalama ses seviyesine göre meteorolojik koşulların etkisi, ses yayılımının yatay ve düşey yönlerdeki

karakteristiklerine göre tanımlanmıştır. Fransa'nın tamamı için oluşturulan bir haritada sunulan ses düzeylerinin uzun dönemdeki oluşumuna ait yüzde oranlarının tanımı ile birlikte değerlendirilmiştir. Ancak ülkemiz için dikey sıcaklık gradyanı verisi bulunmadığından illerimize özel olarak ses yayılımının modellenmesi yapılamamakla beraber genel meteorolojik veriler ile hesaplamalar sürdürülmektedir.

END 5 inci maddesinde günün periyotları gündüz ($L_{gündüz}$), akşam ($L_{akşam}$), gece (L_{gece}) olmak üzere ayrılmıştır. Ayrıca gündüz-akşam-gece göstergesi (L_{gag}) adında bir gösterge daha tanımlanmıştır. Söz konusu göstergeler Ülkemiz Mevzuatında da bulunmaktadır.

Kullanılan ses modelleme yazılımında günün periyotları isteğe bağlı olarak ayarlanabilmektedir. Bu kapsamda standardın hesaplama işlemleri kullanıcı tarafından tanımlanan zaman aralıkları için sürdürülebilmektedir. L_{gag} Eşitlik 3.4'deki formül yardımı ile hesaplanabilmektedir.

$$L_{gag} = 10 * \log \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{gündüz}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{akşam}+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{gece}+10}{10}} \right) \quad 3.4$$

Burada $L_{gündüz}$ (07:00-19:00), $L_{akşam}$ (19:00-23:00) ve L_{gece} (23:00-07:00) göstergeleri ISO1196–2:1987 standardında de tanımlandığı gibi yılın gündüz, akşam ve gece periyotlarının tümünde belirlenen uzun dönem ortalama ses düzeyleridir. ISO1996–2:1987 standardında, uzun dönem ortalama ses düzeyleri, eşit ve kesintisiz A ağırlıklandırılmalı ses basınç seviyesine dayanmaktadır. ISO1996–2 standardına göre, ortalama ses yayılımını; meteorolojik koşullardaki varyasyonlar kadar, kaynak emisyonlarındaki varyasyonlara da bağlıdır. Karayolu trafiği konusunda emisyon (kaynak) varyasyonları yıl içerisindeki araç türü ve sayısı ile kolayca modele yerleştirilirken meteorolojik koşullarda meydana gelen varyasyonlar kaynak varyasyonları kadar kolayca hesaba katılamazlar.

ISO1996-2 ve ISO 1996-1 standartları meteorolojik parametreleri dikkate alsa da detaylı olarak kullanılmamaktadırlar. On yıldan eski olan ISO standartları, öncelikle hesaplamalara değil, ölçümlerle elde edilen verileri dikkate almaktadır. Sadece uzun dönem ortalama ses seviyesinin, ölçüm pozisyonunda bulunan meteorolojik koşullara

ait verilerin dikkate alındığı bir metot ile ölçüm zaman aralıklarının seçildiğine dair ifadeler standartta bulunmaktadır.

Meteorolojik koşullar bağlamında başka bir prosedür ise gürültü kaynağından, ölçüm yapılan noktaya doğru hakim ve kararlı bir pozitif rüzgar bileşenine sahip rüzgarın estiği halde, ses yayılımının meydana geldiğidir. Bu kabullere göre ses emisyonu; belirlenmiş meteorolojik koşullar (uygun meteorolojik koşullar) altında yapılan ölçümlerle ve elde edilen değere bir düzeltme faktörü uygulanarak bulunmaktadır. Bu standartta düzeltmenin miktarı ile bu düzeltmenin nasıl belirleneceğine dair herhangi bir öneri yoktur. Bundan dolayı gürültü haritalama için hesaplama üzerinde çok az etkisi bulunmaktadır. Uygun meteorolojik koşullar altında hesaplamalar yapılırken daima rüzgârın kaynaktan alıcılara doğru estiği kabulü yapılmaktadır. Bu kapsamda bazı model yazılımları uygun meteorolojik koşulların seçilmesine imkan verirken gerçek meteorolojik verilerinde model içerisine girilmesine izin vermektedir.

END, ses yayılımını etkileyen kaynak emisyonları ve yıl içerisinde değişkenlik gösteren meteorolojik koşulları dikkate alarak uzun vadeli ve A ağırlıklandırılmalı ses basınç seviyesinin hesaplanmasına dayanırken NMBP Routes 96 standardı da benzer parametreleri kullanarak hesaplama yapılmasını öngörmektedir. Bu kapsamda END ile NMPB Routes 96 standartlarının paralellik gösterdiği söylenebilir. Gürültü göstergelerindeki farklılık ise model sonuçlarına etki etmemekle beraber model sonuçlarının raporlanmasında farklılıklar doğurmaktadır. Ancak model programlarında yapılacak ayarlamalar ile NMPB Routes 96 standardındaki zaman periyotları END maddelerindeki hale modifiye edilebilmektedir.

3.2.2 Emisyon noktalarının tespit edilmesi

END hükümlerinde, kaynaktan yayılan emisyonun alıcılara ulaşması sırasında alıcı konumlarının zemin seviyesinden 4 metre yükseklikte olduğu kabul edilmiştir. Bu kapsamda NMPB Routes 96 standardında modellenebilecek alıcı yüksekliğinin zeminden en az 2 metre yükseklikte olması gerektiği açıklanmaktadır.

END ve NMPB Routes 96 standardının bu noktada uyuştuğu görülmektedir. Bununla beraber modelleme yazılımlarında hesaplama yapılacak standardın seçimine müteakip alıcı yüksekliği otomatik olarak belirlense de bazı yazılımlarda alıcı yüksekliğine müdahale edilebilmektedir. Ancak END hükümlerine göre yapılacak bir modellemede alıcı yüksekliği 4 metre olarak kabul edilmelidir. Tez çalışmasında da alıcı yüksekliği END hükümleri doğrultusunda 4 metre olarak yazılıma girilmiş ve hesaplamalar bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir.

3.2.3 Kaynağın tanımlanması

NMPB Routes 96 standardında kaynak, ses emisyonu ile değil, geometrisi ile tanımlanmaktadır. Ses emisyonuna göre yapılan değerlendirmelerde Fransız Gürültü Kılavuzuna (Guide de Bruit) ait veriler kullanılmaktadır. EN 1793-3 standardına göre ses emisyonu, öngörülen bir oktav bant spektrumuna sahip, yol çizgisinin metresi başına düşen A ağırlıklandırılmalı ses gücü ile tanımlanmıştır. Kaynağın geometrik yeri ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Standart da yol veya yolun her bir şeridi; 10° veya 10°'den küçük eş açılar halinde bölünerek temel nokta ses kaynaklarına ayrılabilceği gibi 20 metreden daha küçük sabit parçalara ayrılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Bu noktada, alıcılardan yol şeritlerine çıkılan dik mesafenin yarısından az kısımlara bölünmesi esastır. Kaynağın, yatay ayırımının tamamlanmasının ardından dikey olarak nokta kaynak yol yüzeyinin 0,5 metre üstünde ve ayrılan yatay kısımların merkezine gelecek şekilde konumlandırılması esastır.

Çizgisel geometrik özellik gösteren yol hatlarının parçalanarak nokta kaynaklara çevrilmesi prosedürü tüm ülke standartlarından uygulanmaktadır. Buna rağmen araçlardan kaynaklanan ses emisyonları ülkelerde kullanılan araçlar ve ülkelerde kullanılan sathi kaplamalar ve kaplama teknikleri noktasında farklılık göstermektedir. Tez çalışmasında NMPB Routes 96 standardındaki emisyon özellikleri alınmıştır. Ülkemizde kullanılan araç marka modelleri ve motor özellikleri Avrupa ülkeleri ile benzerlik göstermektedir. Ulusal karayollarımızda seyir halinde bulunan araçların büyük çoğunluğu Avrupa yollarında bulunan araçlar ile aynıdır. Bu kapsamda emisyonların NMPB Routes 96 standardındaki şekliyle kullanılabileceği öngörülmüş ve bu şekilde kullanılmıştır.

Yolların geometrik özelliklerini gösteren çizgilerin parçalara ayrılarak nokta kaynağa çevrilmesi işlemi model yazılımları tarafından yapılmaktadır. Bu noktada yol veya yol şeritlerini tanımlayan CBS verilerinin önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Bir yol veya yol şeritlerini tanımlayan CBS tabanlı çizgi sembolojisinin kesintisiz ve modellenecek yol kesimine ait olması zaman kazandırmaktadır. Aksi durumda model yazılımında yol veya yol şeritleri tekrar tanımlanmaktadır. Tez çalışmasında karayolları ayrıca model yazılımı üzerinde modellenmiştir.

3.2.4 Ses yayılımının irdelenmesi

NMPB Routes 96 standardında ses yayılımının hesabı 125 Hz ile 4.000 Hz frekans aralığındaki oktav bantlarında yürütülmelidir. Hesaplama metodu farklı meteorolojik koşullara bağlı olarak ses yayılımı iki tipe ayrılır ve Fransa'nın hangi bölgelerindeki meteorolojik özelliklerin kullanılacağı, gece ve gündüz zaman dilimleri için yayılım tipi ve kullanılacak oran hakkında detaylı tavsiyeler sunmaktadır. END hükümlerine göre gürültü göstergelerinin hesaplanmasında NMPB Routes 96 standardını kullanmak için, meteorolojik koşulların tanımlanması, buna ek olarak akşam periyodu içinde ses yayılımının tanımlanması ve tüm Avrupa ülkelerindeki ses yayılımı tipleri için tanımlamalar içermesi gerekmektedir. NMPB Routes 96 standardında sesin yayılmasının hesaplanmasında çeşitli alt faktörlerin etkisinden söz edilmektedir. Sözü edilen hesaplama basamakları açıklanmıştır.

3.2.4.1 Meteorolojik koşulların hesaplamalara etkisi

Zeminden atmosferin üst katmanlarına çıkıldıkça hava sıcaklığı ve rüzgar hızı farklılaşmaya başlamaktadır. Hava sıcaklığı ve rüzgar yönü ve şiddeti farklı yüksekliklerde farklı değerlere sahiptir. Bu farklılık pozitif veya negatif olabilir. İrtifaya bağlı olarak negatif veya pozitif olan bu değişiklikler ses hızında benzer şekilde farklılaşmaların oluşmasına neden olmaktadır. Ses ile ilgili olarak üç durum söz konusudur. Birincisinde meteorolojik koşullar homojendir ve ses ışınları düz bir doğrultuda hareket ederler. İkinci durumda ise sesin yayılım koşulları uygundur. Bu durumda ses ışınları zemine doğru eğilim gösterirler. Üçüncü meteorolojik

koşullarda ise sesin yayılmasına negatif etki yaratacak şekilde ses ışınları yukarıya doğru eğilim gösterirler.

Gerçek koşullarda termal ve aerodinamik etkiler ile uzak mesafelerde yukarıda sayılan meteorolojik koşulların içerisinde bulunduğu farklı kombinasyonlar gerçekleşebilir. Buna ek olarak ses ışınları, zemin etkisi sebebiyle topografyadan etkilenebilir. Bu nedenle standartta gerçek hayatta gözlemlenebilir meteorolojik koşulların etkilerini özetlemek için Şekil 3.5’de gösterilen abakın kullanılması tavsiye edilmiştir.

	U1	U2	U3	U4	U5
T1		--	-	-	
T2	--	-	-	Z	+
T3	-	-	Z	+	+
T4	-	Z	+	+	++
T5		+	+	++	

Şekil 3.5. Gözlemlenebilir meteorolojik koşullara ve etkilerini nitel olarak tanımlayan abak (NMPB Routes 96)

Şekil 3.5’deki abakta; U1 alıcıdan kaynak istikametine esen ve şiddeti 3 ila 5 m/s olan rüzgarı; U2 alıcıdan kaynak istikametine esen ve şiddeti 1 ila 3 m/s olan ortalama durgun rüzgarı; U3 rüzgar hızının 0 olduğu durumu; U4 kaynaktan alıcı istikametine yaklaşık olarak 45°’lik açılı, şiddetli rüzgarlar dahil olmak üzere ortalama hızdaki rüzgarı ve U5 ise kaynaktan alıcı istikametine esen rüzgarı tanımlamaktadır. T1 gündüz vaktinde, kuru zemin, şiddetli yayılma durumu ve durgun rüzgar durumu koşullarını; T2 ise T1’deki koşullardan en az bir tanesinin bulunmadığı koşulları; T3 gün doğumu veya sabah vakitlerinde bulutlu ve rüzgarlı hava koşullarında hafif nemli yüzey koşullarını; T4 gece vaktinde ve bulutlu ve rüzgarlı hava koşullarını ve T5 gece vaktinde açık gökyüzü ve durgun rüzgar koşullarını ifade etmektedir.

Şekil 3.5'deki gri renk ile doldurulmuş bölgeler gerçekleşme ihtimali bulunmayan durumları ifade etmektedir. U ve T durumlarını kesiştirerek okunan; “- -”ifadesi ağırlıklı olarak ses ışınlarının yukarı eğilim gösterdiği, şiddetli azalım sergilediği uygun olmayan durumu, “-” ifadesi ses ışınlarının nispeten daha az yukarı yönlü eğilim gösterdiği uygun olmayan durumu; “Z” ifadesi meteorolojik kuvvetlerin etkisinin olmadığı, ses ışınlarının düz bir hat üzerinde yayıldığı homojen durumu;“+” ifadesi ses ışınlarının aşağıya eğilim gösterdiği, ses seviyesinin çok az arttığı uygun durumu ve “+ +” ifadesi ise ses ışınlarının aşağıya doğru güçlü eğilim gösterdiği ses seviyesinin arttığı uygun durumu anlatmaktadır. (Çizelge 3.8)

Çizelge 3.8. Gözlemlenebilir meteorolojik koşulların tanımları

İfade	Açıklama
U1	Alıcıdan kaynak istikametine esiyor. Şiddeti 3 ila 5 m/s olan rüzgar.
U2	Alıcıdan kaynak istikametine esiyor. Şiddeti 1 ila 3 m/s olan ortalama durgun rüzgar.
U3	Rüzgar hızı sıfır.
U4	Kaynaktan alıcı istikametine yaklaşık olarak 45°'lik açılı şiddetli rüzgarlar dahil olmak üzere ortalama hızdaki rüzgar
U5	Kaynaktan alıcı istikametine esen rüzgar.
T1	Gündüz vaktinde, kuru zemin, şiddetli yayılma durumu, durgun rüzgar koşulları,
T2	T1'deki koşullardan en az bir tanesinin bulunmadığı koşullar,
T3	Gün doğumu veya sabah vakitlerinde bulutlu ve rüzgarlı hava koşulları, hafif nemli yüzey koşulları,
T4	Gece vaktinde, bulutlu ve rüzgarlı hava koşulları,
T5	Gece vaktinde, açık gökyüzü ve durgun rüzgar koşulları,
--	Ses ışınlarının ağırlıklı olarak yukarı eğilim gösterdiği, şiddetli azalım sergilediği, uygun olmayan durum
-	Ses ışınlarının nispeten daha az yukarı yönlü eğilim gösterdiği, uygun olmayan durum
Z	Meteorolojik kuvvetlerin etkisinin olmadığı, ses ışınlarının düz bir hat üzerinde yayıldığı, homojen durum
+	Ses ışınlarının aşağıya eğilim gösterdiği, ses seviyesinin çok az arttığı uygun durum
++	Ses ışınlarının aşağıya doğru güçlü eğilim gösterdiği, ses seviyesinin arttığı uygun durum

NMPB Routes 96 standardında uzun vadeli ses seviyesinin hesaplanmasında iki atmosferik koşul hesaplara dâhil edilmektedir. Bunlar homojen ve uygun koşullardır. Sözü edilen atmosferik koşullar altında yapılan hesaplamalar ortalama uzun dönem ses seviyelerinin tahmininde kullanılırlar. Homojen ve uygun koşulların oluşumu

gece ve gündüz zaman dilimleri ile kaynak ve alıcının pozisyonlarına göre farklılık göstermektedir.

NMPB Routes 96 standardında, meteorolojik koşulların etkisinin, kaynak ve alıcı arasındaki mesafenin 100 metreden fazla olduğu durumlarda etkisinin fark edilebilir ve ölçülebilir olacağı öngörülmüştür. Ayrıca Fransız Mevzuatında meteorolojik koşulların kaynaktan 250 metre uzaklıktaki alıcıların emisyonlarının hesaplanmasında kullanılabileceğinden bahsedilmektedir. Ancak kaynak ile alıcı arasındaki mesafe için meteorolojik koşulların etkisi bağlamında kesin bir değer bulunmamaktadır. Ek olarak Fransız Standardı XP S 31-133'de ise kaynak ve alıcı arasındaki mesafe hakkında bir açıklama bulunmamaktadır.

Gerek NMPB Routes 96 gerekse XP S 31-133 standardında uygun ses yayılımı koşullarının uygulanabilmesinin bazı arazi durumlarına bağlı olduğu ifade edilmiştir. Bu durumlar;










- a) Yüksek olmayan bitkilerin bulunduğu düz araziler. Münferit ağaçların bulunduğu araziler dahil,
- b) Optimum bitki yüksekliği 10 cm ve altı olan çim ile kaplanmış araziler,
- c) Nehir, göl ve benzeri büyük su yüzeylerinin olmadığı alanlar,
- d) Açık dağılım bölgesinin bulunması ve bu dağılım bölgesinin boyutları ile kıyaslandığında büyük engeller ya da küçük çok sayıda engelin bulunmaması,
- e) Arazinin yüksekliğinin en fazla 500 metre olması durumudur.

Yukarıda sayılan arazi durumlarının sağlanamadığı bölgelerde uygun meteorolojik koşullar oluşsa bile bu verilerin modellemede kullanılamayacağı anlaşılmaktadır. Arazinin yukarıda sayılan koşulları sağlamaması halinde aşağıda özetlenen uygulama metotları önerilmiştir.

- a) Mevcut olan yerel meteorolojik verilerin (yıllık sıcaklık, nem ve rüzgar yönü-şiddeti verileri) kullanılması,
- b) Mikro meteorolojik verilerin (sadece incelenen alan için Çizelge 3.8'deki tanımlardan faydalanılarak) kullanılması,
- c) Yapılacak modelleme için spesifik olarak belirlenmiş ve toplanmış meteorolojik verilerin kullanılması,
- d) Çok kapsamlı veri toplanması ile uzun vadeli verilerin toplanması ve işlenmesi,
- e) Ayrıca gece zaman periyodu için uygun koşulların %100'ünün, gündüz zaman periyodu için uygun koşulların %50'sinin oluştuğu kabulü yapılabilir.










Bu durum Avrupa Komisyonu çalışma grubu tarafından oluşturulan Stratejik Gürültü Haritaları İçin İyi Uygulamalar Kılavuzu adlı raporun 17 numaralı tavsiye tablosunda uygulanabilecek metotlar zorluk, doğruluk ve bütçe başlıkları altında açıklanmıştır. İlgili öneriler Çizelge 3.9'da verilmiştir (EC. WG-AEN, 2006). Çizelgede köşe sayısının artması artışı, azalması ise azalmayı ifade etmektedir.

Çizelge 3.9. Uygun ses yayılım koşullarının meydana gelmesi hakkındaki tavsiye tablosu

Metot	Zorluk	Doğruluk	Bütçe
Yerel meteorolojik verilerin kullanılması			
Ulusal standartları veya mevzuatın kullanılması	Mevzuata bağımlı		
Ulusal varsayılan meteorolojik verilerin kullanılması			
Aşağıdaki varsayılan değerlerin kullanılması			
Periyot	Yıl boyunca uygun koşulların oluşma olasılığı		
Gündüz %50			
Akşam %75			
Gece %100			









Benzer şekilde sıcaklık ve bağıl nemin belirlenmesi amacıyla Stratejik Gürültü Haritaları İçin İyi Uygulamalar Kılavuzu adlı raporun 18 numaralı tavsiye tablosunda benzer öneriler bulunmaktadır. Öneriler Çizelge 3.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. Bağıl nem ve sıcaklıkla ilgili olarak tavsiye tablosu













Metot	Zorluk	Doğruluk	Bütçe
Mümkünse güncel nem ve sıcaklık değerinin kullanılması			
Ölçülen nem ve sıcaklık verilerinin kullanılması			
Ulusal varsayılan veya standartlardaki verilerin kullanılması, (Örn. 15 ⁰ C'de %70 Bağıl nem)			

Bu noktada İyi Uygulamalar Kılavuzunda bulunan ve Çizelge 3.9 ve Çizelge 3.10'da bulunan şekil ve renk kodlarının açıklamalarının yapılması uygun olacaktır. İyi Uygulamalar Kılavuzunun 4 üncü bölümünün 4.01 nolu maddesinde kullanılacak öneri tablolarının renk ve şekil kodları Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12'de açıklanmıştır.

Çizelge 3.11. Zorluk, doğruluk ve bütçe başlıkları için renk ve şekil kodları

Zorluk	Renk Kodu	Doğruluk	Renk Kodu	Bütçe	Renk Kodu
Basit		Düşük	> 5 dB	Ucuz	
-	-	-	4 dB	-	-
-		-	3 dB	-	
-		-	2 dB	-	
-	-	-	1 dB	-	-
Karışık		Yüksek	< 0.5 dB	Pahalı	

Çizelge 3.12. Zorluk, doğruluk ve bütçe başlıkları için renk kodları

Zorluk	Renk Kodu	Doğruluk	Renk Kodu	Bütçe	Renk Kodu
Basit		Düşük		Ucuz	
-		-		-	
-		-		-	
Karışık		Yüksek		Pahalı	

END hükümleri uyarınca stratejik gürültü haritası çalışmalarında trafik kaynaklı gürültünün hesaplanması noktasında NMPB Routes 96 standardında tanımlanan uygun ses yayılım koşullarının ne zaman ve ne oranda hesaba katılacağı belirlenmelidir. Buna göre NMPB Routes 96 standardı ya veri toplama maliyeti ve zorluğu göz önüne alınarak ara metot olarak kullanılmalı ya da meteorolojik ve arazi koşulları ile ilgili sınırlamalar belirlenerek uygulanmalıdır.

Örnek olarak 500 metrenin altında arazi yüksekliğinin bulunduğu alanlarda bazı durumlarda NMPB Routes 96 uygulanabilirken, dağlık alanlarda uygulanmaz. Dağlık alanlara örnek olarak Avusturya ve kuzey İtalya'daki Alplerden geçen yollar verilebilir.

Bu sebeple END hükümlerinde en uygun çözümün sabit değerler almak olduğu önerilmektedir. Bu kapsamda Çizelge 3.9'da gösterilen ve İyi Uygulamalar Kılavuzu'nda da öneriler arasında bulunan aşağıdaki sabit değerler kullanılabilir. Tez çalışması kapsamında END hükümlerine de paralel olarak aşağıdaki kabuller yapılarak modellemede kullanılmıştır.

a) Gece periyodu için, uygun ses yayılım koşullarının zaman diliminin %100'ünde gerçekleştiği,

b) Gündüz periyodu için, uygun ses yayılım koşullarının zaman diliminin %50'sinde gerçekleştiği,

c) Ayrıca akşam periyodu, kış ayları için gece, yaz ayları için gündüz koşullarından faydalanarak tespit edilmesi önerilmekle birlikte, uygun ses yayılım koşullarının zaman diliminin %75'sinde gerçekleştiği,

Bu kapsamda uzun dönem ses seviyesi, uygun meteorolojik koşullar için hesaplan L_F değeri ile homojen ses yayılım koşulları için hesaplanan L_H değerinin enerjetik toplamı ile tespit edilmektedir. Bu durum Eşitlik 3.5'de verilmiştir.

$$L_{\text{uzun dönem}} = 10 * \log \left[p * 10^{\frac{L_F}{10}} + (1 - p) * 10^{\frac{L_H}{10}} \right] \quad 3.5$$

Eşitlik 3.5'deki p terimi ses yayılımı için uygun koşulların uzun dönemli meydana geliş yüzdesidir. Uygun meteorolojik koşullar altında, yolun yada yol şeridinin belirlenen koşullar altında parçalara ayrılıp, ayrılan her parçanın yatayda orta noktasına ve dikeyde 0,5 metre yüksekliğine yerleştirilen, nokta kaynak için ses seviyesi, her bir oktav bandında Eşitlik 3.6'da gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$L = L_w - A_{div} - A_{atm} - A_{grd,F} - A_{dif,F} \quad 3.6$$

Eşitlik 3.6'da A_{div} sesin ayrılması sebebiyle meydana gelen geometrik sapmayı, A_{atm} hava absorpsiyonu sebebi ile meydana gelen atmosferik yutulumu, $A_{grd,F}$ uygun koşullar altında zemin etkisiyle oluşan azaltımı, $A_{dif,F}$ uygun koşullar altında meydana gelen kırılmayla meydana gelen azaltımı tarif emektedir.

3.2.4.2 Geometrik sapma (A_{div})

Geometrik sapma kaynak ile alıcı arasındaki mesafeye bağlı olarak ses seviyesi azaltımını tanımlamaktadır. Geometrik sapma, Eşitlik 3.7'den hesaplanabilmektedir (Demirkale, 2007).

$$A_{div} = \left[20 * \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + 11 \right] \quad 3.7$$

Eşitlik 3.7'de d , kaynak ile alıcı arasındaki mesafeyi metre cinsinden ifade etmektedir. d_0 ise referans uzaklığı ifade eder. Referans uzaklık 1 metre olarak alınabilir.

3.2.4.3 Atmosferik absorpsiyon (A_{atm})

NMPB Routes 96 standardında atmosferik emme genel olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Fransa için 15 °C sıcaklık ve %70 bağıl nem koşullarından hesaplanan azalma katsayısı NMPB Routes 96 standardının içerisine dahil edilmiştir. Bu sebeple belirlenen azalma katsayısı tüm Avrupa ülkeleri için kullanılamaz.

NMPB Routes 96 standardını tüm Avrupa Ülkelerinde kullanılabilmesi için ISO9613-1 standardına atıfta bulunulmuştur. ISO9613-1 standardında bulunan tablolardan yararlanmaktadır. Çizelge 3.13'de sıcaklık ve bağıl neme bağlı olarak kilometre başına desibel cinsinden azalma (dB/km) biriminden atmosferik absorpsiyon katsayıları bulunmaktadır.

Çizelge 3.13'deki katsayılar temel alınarak gürültü modeli yapılan alan için özel olan sıcaklık ve nem değerlerine bağlı atmosferik azalım katsayılarına ulaşılabilir. Atmosferik azaltım değeri Eşitlik 3.8'deki şekilde hesaplanmıştır.

$$A_{atm} = \alpha * d / 1000 \quad 3.8$$

Eşitlik 3.8'deki α , Çizelge 3.13'den tespit edilen katsayı olup d değeri ise kaynak ile alıcı arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. 1000 ifadesi α katsayısının 1 kilometrelik mesafedeki dB cinsinde azalma miktarı olarak tanımlanmasından dolayı formüle ilave edilmiştir.

Çizelge 3.13'de görüleceği üzere her bir frekans değerlerinde, sıcaklık ve bağıl neme bağlı olarak 1 km mesafede meydana gelmesi beklenen ses seviyesi azalması dB cinsinden gösterilmektedir.

Çizelge 3.13. Sıcaklık ve bağıl neme bağlı olarak atmosferik absorpsiyon katsayıları

Sıcaklık °C	Bağıl Nem %	Frekans (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
0	40	0,43	0,92	2,63	9,00	29,8	75,2
	50	0,41	0,82	2,08	6,83	23,8	71,0
	60	0,40	0,78	1,78	5,50	19,3	63,3
	70	0,39	0,76	1,61	4,64	16,1	55,5
	80	0,38	0,76	1,51	4,06	13,8	48,8
	90	0,37	0,76	1,45	3,66	12,1	43,2
5	40	0,47	0,92	2,10	6,48	22,7	72,5
	50	0,46	0,89	1,82	5,08	17,5	60,2
	60	0,44	0,89	1,69	4,29	14,2	50,2
	70	0,42	0,90	1,64	3,80	12,0	42,7
	80	0,39	0,90	1,63	3,50	10,5	37,0
	90	0,37	0,90	1,64	3,31	9,39	32,7
10	40	0,52	1,04	1,98	5,07	16,8	59,0
	50	0,49	1,05	1,90	4,26	13,2	46,7
	60	0,45	1,05	1,90	3,86	11,0	38,4
	70	0,41	1,04	1,93	3,66	9,66	32,8
	80	0,38	1,02	1,97	3,57	8,76	28,7
	90	0,35	1,00	2,00	3,54	8,14	25,7
15	40	0,54	1,23	2,18	4,51	13,1	45,7
	50	0,48	1,22	2,24	4,16	10,8	36,2
	60	0,43	1,18	2,31	4,06	9,50	30,3
	70	0,38	1,13	2,36	4,08	8,75	26,4
	80	0,34	1,07	2,40	4,15	8,31	23,7
	90	0,31	1,02	2,41	4,25	8,07	21,7
20	40	0,52	1,39	2,63	4,65	11,2	36,1
	50	0,45	1,32	2,73	4,66	9,86	29,4
	60	0,39	1,23	2,79	4,80	9,25	25,4
	70	0,34	1,13	2,80	4,98	9,02	22,9
	80	0,30	1,04	2,77	5,15	8,98	21,3
	90	0,27	0,97	2,71	5,30	9,06	20,2

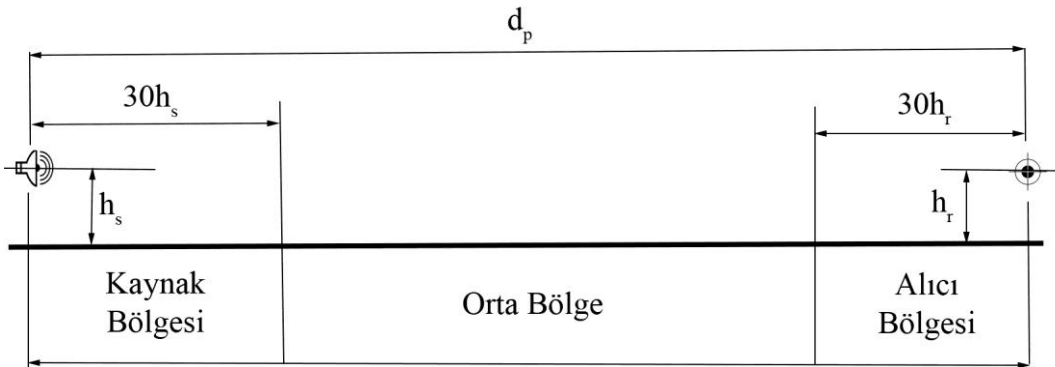
3.2.4.4 Zemin etkisi ($A_{\text{grd,F}}$)

Bir ses kaynağından yayılan ses, alıcıya doğrudan ulaşabileceği gibi zeminden yansıma yapmak sureti ile de ulaşabilir. Bu durumda alıcıya ulaşan toplam ses doğrudan ulaşan ses ve zeminden yansyarak ulaşan sesin toplamıdır. Bu bağlamda zemin özelliği alıcıya ulaşan sesin miktarını etkilemektedir.

Zemin etkisine bağılı ses azaltımı ($A_{\text{grd,H}}$) homojen koşullar için zemin yansıtma katsayısını (G) hesaba katarak tespit edilebilir. Zemin yansıtma katsayısı olan G 'nin sifıra eşit olduğu durumlarda (sert, tam yansıtmalı zemin) $A_{\text{grd,H}}$ -3dB'lik bir düzeltme ile bulunabilir.

$A_{\text{grd,F}}$ değerinin tespitinde ise ISO 9613-2 standardına atıfta bulunulmuştur. Zemin çeşidi, zeminin kaynak ile alıcı arasındaki yayılma yolunda önemli ölçüde yansıma oluşturma potansiyeline sahiptir. Rüzgar yönüne doğru sesin yayılması durumunda, zemin yutuculuğu sonucunda meydana gelen azalma, öncelikle kaynağa ve alıcıya yakın zemin yüzeylerinde meydana gelir (FMO, 2012).

Ayrıca A_{grd} sadece eğimi sifıra yakın veya sifır olan yüzeyler için hesaplanabilmektedir. Şekil 3.6'de görülen gösterimde h_s ifadesi kaynağın, h_r alıcının zeminden olan yüksekliğini göstermekteyken d_p ifadesi ise d ifadesinden farklı olarak kaynak ile alıcı arasındaki iz düşümü mesafesini temsil etmektedir.



Şekil 3.6. Zemin etkisinin meydana geldiği bölgeler

Eşitlik 3.9'daki A_s azaltımı kaynak bölgesinden meydana gelmektedir. Bu bölge h_s değerinin en fazla 30 katı kadar olabilir. A_r azaltımı ise alıcı bölgesinden meydana gelmektedir. Alıcı azaltım bölgesi ise h_r değerinin en fazla 30 katı kadar olabilir. A_m ile tarif edilen azaltım ise alıcı azaltım bölgesi ile kaynak azaltım bölgesi arasında kalan bölgeyi ifade eder. Eğer d_p ile alıcı bölgeleri arasında Eşitlik 3.10'deki bağıntı bulunması halinde orta bölge oluşumundan bahsedilemez.

$$A_{gr} = A_s + A_r + A_m \quad 3.9$$

$$d_p < (30 * h_s + 30 * h_r) \quad 3.10$$

Her bir bölgenin zemin etkisi kendi içinde değerlendirilir. Sert zeminlerde G değeri sıfır olarak alınırken, gözenekli zeminlerde G değeri bir olarak alınır. Gerçek durumda zeminler birden farklı zeminin karışımlarından oluşmaktadır. Bu durumda ise G değeri sıfır ila bir arasında bir değer almaktadır.

Bu tez çalışmasında Corine Zemin Sınıflandırması kullanılmıştır. Bu sınıflandırma daha ziyade coğrafya bilimini ilgilendirmekle birlikte yapılan çalışmada da kullanılmıştır. Corine Zemin Sınıflandırmasında dünya üzerinde bulunan zemin dokuları sınıflandırılmıştır. Bu kapsamda birinci seviyede 6 adet zemin sınıfı oluşturulmuştur (EEA, 2015).

Örnek olarak Corine Zemin Sınıfı lejantında bulunan [1-1.1-1.1.1] kodlu devamlı şehirleşmiş doku için ızgara kodunun 1 olduğu görülmektedir (EEA, 2015). Bu sınıflandırmada ilgili zemin sınıfının RGB kodu 230-000-077 olarak açıklanmaktadır. Bu kapsamda ilgili zemin sınıfının absorpsiyon katsayısı 0,10 olarak görülmektedir. Buna karşı Corine Zemin Sınıfı kodu [2-2.4-2.4.4] olan tarım ve orman alanları için absorpsiyon katsayısı 0,95 olarak görülmektedir.

Ülkemizde Corine Zemin Sınıflandırması verilerine Çevre ve Şehircilik Bakanlığı aracılığıyla ulaşılabilmektedir.

ISO9613-2 standardı zemin etkisinin hesaplanmasında alternatif yöntemleri de önermiştir. Oktav bantlar temelinde zeminden kaynaklanan toplam azalmanın tespiti için Çizelge 3.14'de verilen prosedür izlenebilmektedir.

Çizelge 3.14. Otav bant temelinde azalma hesaplama prosedürü

Merkez Bant Frekansı, Hz	A_s veya A_r Değerleri, dB	A_m Değeri, dB
63	-1,5	$3q$
125	$-1,5 + G * a'(h)$	
250	$-1,5 + G * b'(h)$	
500	$-1,5 + G * c'(h)$	
1.000	$-1,5 + G * d'(h)$	$-3q(1 - G_m)$
2.000	$-1,5(1 - G)$	
4.000	$-1,5(1 - G)$	
8.000	$-1,5(1 - G)$	

Çizelge 3.14'de bulunan a', b', c' ve d' ifadelerinin hesaplanmalarına ilişkin bağıntılar aşağıda verilmiştir.

$$a'(h) = 1,5 + 3,0 * e^{-0,12(h-5)^2} \left(1 - e^{-d_p/50}\right) + 5,7 * e^{-0,09h^2} \left(1 - e^{-2,8*10^{-5}*d_p^2}\right) \quad 3.11$$

$$b'(h) = 1,5 + 8,6 * e^{-0,09h^2} \left(1 - e^{-d_p/50}\right) \quad 3.12$$

$$c'(h) = 1,5 + 14,0 * e^{-0,046+h^2} \left(1 - e^{-d_p/50}\right) \quad 3.13$$

$$d'(h) = 1,5 + 5,0 * e^{-0,9h^2} \left(1 - e^{-d_p/50}\right) \quad 3.14$$

A_s değerini hesaplamak için $G=G_s$ ve $h=h_s$ olarak alınmaktadır. A_r değerini hesaplamak için $G=G_r$ ve $h=h_r$ olarak alınmaktadır. Farklı zemin yüzeylerindeki G değerleri için Corrine Yüzey Sınıflandırması kullanılabilir.

$d_p \leq 30 * (h_s + h_r)$ bağıntısının gerçekleştiği durumlarda $q = 0$ olarak alınmalıdır. Buna ilave olarak $d_p > 30 * (h_s + h_r)$ bağıntısının sağlandığı durumlarda ise $q = 1 - \frac{30*(h_s+h_r)}{d_p}$ olarak hesaplanabilir.

3.3 Model Yazılımı

Tez çalışmasında, senaryoların oluşturulduğu SoundPLAN adlı, gürültü modelleme yazılımı Microsoft Windows işletim sistemi altında çalışmaktadır. Yazılım birbirleri ile eş güdüm içinde çalışan bir dizi alt programdan oluşmaktadır. Bu programlar farklı hesaplama modüllerini yürütmektedir. Bu modüller;

a) Gürültü Modelleme Modülleri

- a1) Başlangıç modülleri
- a2) Endüstri gürültüsü başlangıç modülü
- a3) Karayolu gürültüsü başlangıç modülü
- a4) Sanayi gürültüsü başlangıç modülü

b) Modüller

- b1) Coğrafi bilgi sistemi
- b2) Karayolu gürültüsü
- b3) Demiryolu gürültüsü
- b4) Sanayi gürültüsü
- b5) Fabrika içi gürültü

c) Grafik

- c1) Izgaralı gürültü haritası
- c2) Vertikal gürültü haritası
- c3) Cephe gürültü haritası
- c4) Kartoğrafi (Görsel efektler)

d) Harita Aktarımı

- d1) ArcWiev Shape file (GIS) aktarımı
- d2) TNM arayüzü

e) SoundPLAN Uzman

e1) Uçak (havalimanı) gürültüsü

e2) Endüstri gürültüsü uzman sistem

e3) 3D grafik

e4) 3D animasyon

f) SoundPLAN Yardımcısı

f1) Gürültü engelleri dizaynı, yükseklik optimizasyonu

f2) Gürültü engelleri dizaynı, yükseklik+eğim optimizasyonu

f3) Pencere boyutlandırma

f4) Dağılık hesaplama

f5) Bina akustiği

f6) Gürültü paylaşımı

olarak sınıflandırılmıştır. Bu kapsamda veri düzenlemesi yapılacak konuya göre uygun modül seçilerek modelleme yapılabilmektedir. Modelleme verileri farklı birer proje dosyası halinde kaydedilebilmektedir. Bu sayede farklı kullanıcılar değişik ihtiyaçlar için mevcut proje dosyalarını kullanabilmektedirler.

Bir modele başlamadan önce kullanılacak standartlar veya kullanılması öngörülen özel koşullar için ön ayarlamalar yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda nesne numaralarının tanımlanması, zaman dilimlerinin ayarlanması, grafik ayarları, kullanım ayarları, coğrafi veri tabanı ön ayarları, kullanılan veya kullanılmayan standartlar ile ilgili ayarlar, hesaplama standartları ön ayarları ve hesaplama ön ayarları olmak üzere çeşitli ayarlamalar yapılmalıdır.

Yazılım, taranmış haritaları altlık olarak kullanabilmektedir. Bu kapsamda kullanılabilir formatlar “.bmp”, “.tif”, “.png” veya “.gif” uzantılarını kullanan resim formatlarıdır. Ayrıca altlık haritaları “.dxf” formatında da program içine alınabilmektedir. Ayrıca SoundPLAN CARD/1, Stratis, ASCII formatları ile de dönüşüm işlemi yapabilmektedir. Bu formatlara ek olarak coğrafi bilgi sistemleri bağlamında en çok kullanılan “.shp” formatında da dönüşüm yeteneğine sahiptir.

Tez çalışması kapsamında, coğrafi veriler “.ncz”, “.dxf”, “.dwg” formatlarında elde edilmiştir. Özellikle “.ncz” ve “.dwg” formatlarındaki verilerde “.dxf” formatına dönüşüm esnasında veri kayıpları yaşanmıştır. Dijital haritaları oluşturan çizgi, nokta ve poligonların öz niteliklerinde yaşanan veri kayıpları daha sonra arazide yapılan çalışmalar ve hava fotoğrafları kullanılarak tamamlanmıştır.

Tez kapsamında karayollarının modellenmesi yapılmıştır. Bu kapsamda yazılımda karayolu hatları modülü kullanılmıştır. Yol hatları, nesne tipi, yazılım içerisinde karayollarını temsil etmektedir. Bu nesne, akustik ve hava kirliliği modellemelerinde bir çizgisel eleman olarak kullanılmaktadır. Yolun ana doğrultusu X ve Y koordinatları, nesne ve arazi yükseklikleri, verileri ile belirlenerek oluşturulmuştur.

Yolun genişliği ve emisyon bantlarının uzaklığı, “Cog-Veri” içerisinde yol için nesne özellikleri menüsündeki profil dizin sayfasında tanımlanmıştır. Emisyon bandının yüksekliği, otomatik olarak nesne yükseklik değerinden hesaplanmıştır. Bu noktada hesaplamalarda kullanılacak standartlar belirleyici olmaktadır. Gürültü benzetim modellerinde, kaynağın araziden yüksekliği genellikle zemin azaltma etkisi hesaplaması üzerinde belirleyici etkiye sahiptir. Bu nedenle, nesne yüksekliği, diğer verilerden hesaplamak yerine direkt olarak arazi yüksekliğine bağlı olarak tanımlanmaktadır. Sayısal zemin modelleri için de arazi yüksekliği bir sabit nokta olarak değerlendirilmektedir (SoundPLAN Manuel). Eğer arka planda bir sayısal zemin modeli yüklüyse, yol yüksekliği, arazi yüksekliğine eşit kabul edilmesi birinci koşuldur. Bu nedenle araziden daha yüksek bir noktadan geçen yollar için ayrı olarak gerekli ayarlamalar yapılmalıdır. Bu durum benzer şekilde alt geçitlerin modellenmesinde de benzerlikler göstermektedir.

Engellerin alt ve üst kenarları yükselti eğrileriyle modellenmemiştir. Çünkü yükselti eğrileri yalnızca zemin azaltma etkisini değil, gürültü perdelemesini de etkilemektedir. Yolların gürültü yayılımında engel teşkil etmediği değerlendirilmiştir.

Kaba hesaplamalar veya araziye göre daha yüksekte geçen yollara uzak noktadaki alıcılar için, yükselti eğrilerini yok sayarak arazi yüksekliği ayarlanabilmektedir. Setler modellenirken, üst kenarlar için daima yükselti eğrilerinin kullanılması

faydalıdır. Ancak meskûn mahallerde yükselti eğrileri yerine yükseklik noktaları bulunmaktadır.

Yol özellikleri penceresi Şekil 3.7’da gösterilmiştir. Yol özellikleri menüsü, gürültü emisyonu, kilometre ayıraçları, yol profili ve köprü tanımlaması için ayrı dizin sayfalarından oluşan bir ara yüzdür. Kilometre ayıraçları ve referans çizgisi tanımlamaları tüm hesaplama yöntemleri için aynı şekildedir. Emisyon özellikleri ise hesaplama standardına bağlıdır ve her standart için farklılaşmaktadır.

Road properties

Name: Kingsland Road

Section: []

Traffic | Air pollutants | Bridge

Emission/Station | Emission level | Profile

Emission calculation according to "RLS90"

Calculated [Icon]

LmE	d(6-22h)	n (22-6h)
[dB(A)]	67,84	57,48

Stationing

km post: 0.0000 ascending

Calculated Reference line

Profile

3,75/3,75 (RQ 10,5)

Ok Cancel Help

Şekil 3.7. Yol özellikleri penceresi

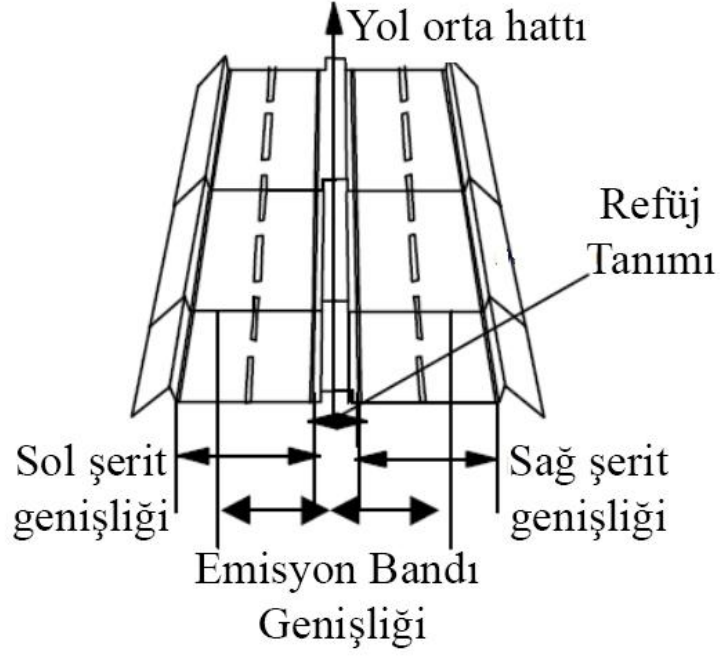
Kavşak ve yol profillerinin ayarlandığı ara yüz penceresi Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Yollar yazılım içerisinde çizgisel nesnelere olarak sayısallaştırılmıştır. Oluşan çizgi, yolun ana doğrultusunu göstermektedir. Akustik hesaplamalarda, emisyonun ortaya çıktığı yer daima yolun orta kısmı olmamaktadır.

	left	right
Lane width	10,00	10,00
Distance emission band	7,25	7,25
Central reservation width	3,00	3,00

Şekil 3.8. Kavşak ve yol profilleri girişi penceresi

Örneğin, RLS 90 standardında emisyon bandının, yolun her iki yönünün (gidiş ve geliş) ortasından geçtiği varsayılmaktadır. Profil dizin sayfasında, tek bir yönün genişliğini, her iki yön için emisyon bant uzaklığını ve orta refüj genişliği değerlerinin girilmesi gerekmektedir. Burada girilen değerler hem akustik benzetim modellerinde ve bant tipi gürültü haritası grafiklerinde hem de yolu tanımlayan gri yol hattında kullanılabilir.

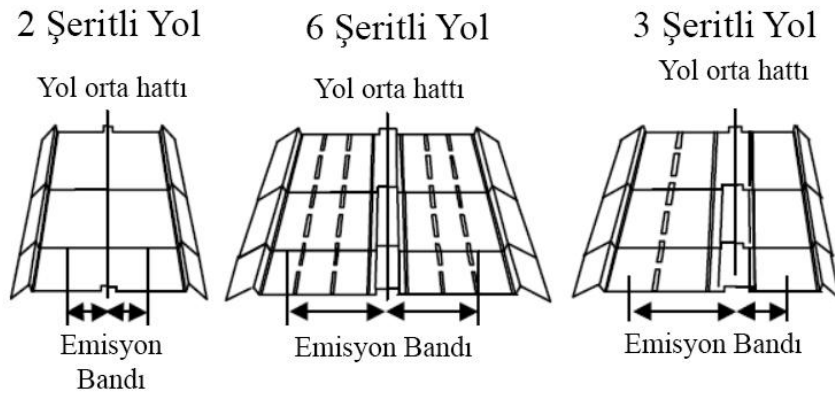
Şekil 3.9’de yol profili tanımlamaları gösterilmektedir. Tek yönlü yollarda, yol ekseninin ilk koordinatı tanımlanırken tek emisyon bandı onay kutusunun işaretlenmesi gerekmektedir.



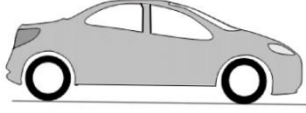
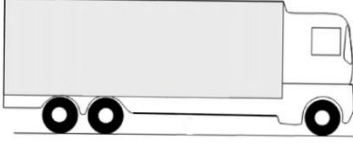
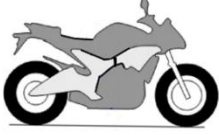
Şekil 3.9. Yol profili tanımlaması

Önceden tanımlanmış yol profil örnekleri arasında bir çok simetrik profilin yanı sıra, dönüş yönlerini belirtmek için bazı asimetrik profiller de mevcuttur. Kullanılabilecek örnek yol profilleri Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

Yolların emisyon hesaplamaları için yapılacak veri girişleri, kullanılan standarda göre farklılık göstermektedir. Farklı araç tipleri, farklı emisyon bandı yükseklikleri, farklı emisyon düzeyi tanımlamaları ve benzeri değişiklikler yapılabilmektedir.



Şekil 3.10. Yazılımda kullanılabilecek farklı yol profilleri

	Emisyon Noktaları	
	Motor Gürültüsü	Tekerlek Gürültüsü
	30 cm	1 cm
	75 cm	1 cm
	30 cm	

Şekil 3.11. Araç tiplerine göre tanımlanan emisyon kaynağı noktaları

Şekil 3.11’de farklı araç tiplerine göre tanımlanan emisyon kaynağı noktaları gösterilmiştir. Buna göre binek tip araçlarda motordan kaynaklanan emisyon yerden 30 cm yukarıda iken tekerleklerden kaynaklanan emisyon yerden 1 cm yükseklikte olduğu kabul edilmiştir. Benzer şekilde kamyon ve benzeri araçların motorlarından kaynaklanan emisyonun yerden 75 cm yükseklikte olduğu, tekerleklerinden kaynaklanan emisyonun ise zeminden 1 cm yükseklikte olduğu kabulü yapılmıştır. Motosikler için emisyon noktası yüksekliği tanımlanırken tek bir nokta öngörülmüş olup yerden yüksekliği 30 cm olarak tanımlanmıştır.

Bir yol parçasının gürültü benzetim modelinde değerlendirmeye alınabilmesi için, parçanın ilk koordinatının, emisyon çizgisi kaynak gücünü tanımlayan akustik özelliklerle bağlantılı olması gerekmektedir. Emisyon düzeyi için yalnızca yayılma ve zemin etkileri değerlendirmeye alınmaktadır. Ortaya çıkan düzey, ortalama emisyon düzeyi olarak ifade edilip L_{ME} olarak gösterilmektedir. Ortalama emisyon düzeyi değeri; hesaplama, tanımlama veya trafik veri tabanından aktarma yoluyla elde edilebilir. Trafik yoğunluğu, yol yüzey yapısı, trafik akış hızı ve benzeri gibi nedenlerin değişmesi sebebiyle emisyon miktarının değiştiği tüm noktalarda, yeni bir ortalama emisyon değeri ile tanımlanmış yeni bir referans koordinatına gereksinim duyulmaktadır. Bu kapsamda coğrafi bilgi sistemleri katmanında trafik yoğunluğu,

yol yüzeyi yapısı, trafik akış hızı gibi değişkenlerin geçişleri için yolların belirlenmesi gürültü benzetim modellerinin oluşturulmasını son derece kolaylaştırmaktadır. Ancak sayısal harita altlığı gürültü benzetim modelleri düşünülerek hazırlanmadığından, yazılımda ortalama emisyon değerlerinin değişikliğine göre tanımlama yapma ihtiyacı oluşmaktadır. Tez çalışmasında da yolun ortalama emisyon değerlerinin değiştiği noktalar baz alınarak yol tanımlamaları yapılmıştır. Yazılım, iki ayrı emisyon bandına sahip olan yollarda, her iki yön için de eşit şartların var olduğunu varsayımı ile programlanmıştır. Bu öngörü ile gidiş ve geliş yönlerinin emisyon düzeyleri birbirine eşit hesaplanmaktadır. Arazi şartlarında durum böyle değilse, diğer bir deyişle yolun gidiş istikameti ile dönüş istikameti arasında emisyon düzeyleri bağlamında farklılıklar bulunuyorsa yol profilleri ve kesitler dikkate alınarak yol iki farklı yol olarak modellenip ortalama emisyon değerleri farklı olarak hesaplanabilmektedir.

Emission calculation according to "Guide du Bruit (Lden)"

Traffic | Speed, Traffic flow, Additions |

Input type: Percentages manually on ADT

Road type: [] >>

One-way traffic | In entry direction | ADT[Veh/24h] 19820

	Veh/h(d)	k(d)	Veh/h(e)	k(e)	Veh/h(n)	k(n)
	991,0	0,05000	594,6	0,03000	555,0	0,02800

	Veh/h(d)	p(d)[%]	Veh/h(e)	p(e)[%]	Veh/h(n)	p(n)[%]
Light	872,1	88,0	547,0	92,0	499,5	90,0
Heavy	118,9	12,0	47,6	8,0	55,5	10,0

Levels	d(7-19h)	e(19-23h)	n(23-7h)
[dB(A)]	88,72	86,01	85,96

Gradient: 0.0 [%]
Driving on right side

Ok Cancel Help

Şekil 3.12. Gündüz, akşam, gece emisyon seviyeleri veri girişi ara yüzü

Şekil 3.12’de gündüz, akşam ve gece zaman dilimleri için emisyon seviyeleri veri girişi arayüzü gösterilmiştir. Arayüze trafik yoğunluğu verileri gündüz, akşam ve gece zaman dilimleri için girilebilmektedir. Yazılım içerisinde yer alan emisyon hesaplamalarının bir çoğu için trafik verilerinin girilmesinde aynı veri giriş arayüzü kullanılmaktadır. Veri girişi tipine göre aşağıdaki parametreler değiştirilebilmektedir.

- a) Zaman dilimleri
- b) Tek yönlü trafik
- c) Yol eğimi
- d) Trafik akış yönü (sağdan veya soldan)
- e) Günlük ortalama trafik yoğunluğu (OGT, araç sayısı/24 saat)
- f) Saatlik araç sayısı hesaplama faktörü (k)
- g) Araç tipinin toplam trafik akışı içindeki oranı (p%)

Bu noktada “k” değeri önem arz etmektedir. Bu değer OGT değerinden yola çıkarak saatlik araç sayısının hesaplanmasında kullanılmaktadır. “k” değeri ile “OGT” değerinin çarpımı sonucu saatlik araç sayısı bulunmaktadır.

Ülkemizde “k” değerinin tespitini Karayolları Genel Müdürlüğü yapmaktadır. Trafik sayım cihazları ile belirli yol kesimlerinde yapılan uzun süreli sayımlar baz alınarak hesaplanmaktadır. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yapılan, “k” değerinin belirlenmesine ilişkin sayımlarda yollar önceden belirlenmiş sınıf veya bölgelere göre yapılmaktadır. Bu bölgeler kırsal veya kentsel alanlar olarak ayrılabilir. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan “k” değerleri tablosunda 2008 yılı için Antalya İli ve yakın çevresindeki yol kesimleri için belirlenen değerler Çizelge 3.15’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.15. Antalya İli yakın çevresi yol kesimleri için k değerleri tablosu (KGM, 2009)

Bölüm	Ölçüm Süresi, saat	Saatlik Trafik	k değeri	Gün	Tarih	Zaman Dilimi	YOGT
400-12	30	1.351	0,100	Cuma	18.07.2008	18:00 -19:00	13.363
	50	1.335	0,099	Cuma	04.07.2008	17:00 -18:00	
	100	1.305	0,097	Çarşamba	13.08.2008	17:00 -18:00	
	200	1.257	0,093	Perşembe	14.08.2008	16:00 -17:00	
650-13	30	843	0,112	Cumartesi	18.08.2007	11:00 -12:00	7.478
	50	783	0,104	Cumartesi	30.06.2007	11:00 -12:00	
	100	718	0,095	Pazar	01.07.2007	13:00 -14:00	
	200	640	0,085	Pazartesi	06.08.2007	11:00 -12:00	
400-04	30	633	0,109	Cumartesi	11.08.2007	19:00 -20:00	5.794
	50	614	0,106	Cumartesi	11.08.2007	11:00 12:00	
	100	586	0,101	Pazartesi	09.07.2007	11:00 -12:00	
	200	556	0,096	Çarşamba	05.09.2007	17:00 -18:00	

Tez kapsamındaki yollarda trafik sayımları gerçekleştirilmiştir. Her bir yol kesimini temsil edecek şekilde trafik akışının net bir şekilde görülebileceği noktalardan kamera görüntüleri alınmıştır. Alınan görüntüler daha sonra bilgisayar ortamında yavaş hızda oynatılarak araçlar sayılmıştır. Sayımlarda araçlar ağır ve hafif olmak üzere tasnif edilmiştir. Sayımların yapılacağı zamanlar daha ziyade gündüz, akşam

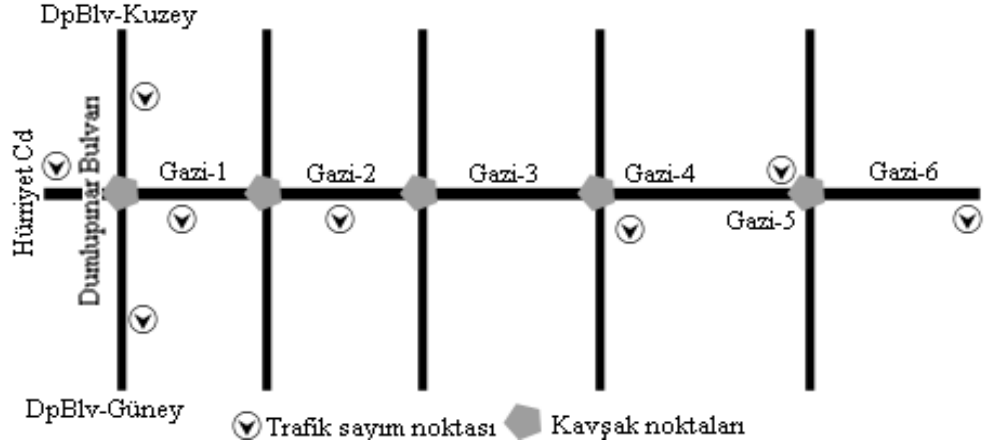
ve gece zaman dilimlerinin pik saatlerinde yapılmıştır. Pik saatler günlere göre değişmekle beraber genel itibari ile gündüz zaman diliminde mesai başlama saatlerinden 30 dakika öncesi ile öğleden sonra mesai çıkış saatleri, akşam zaman diliminde ise gündüz zaman dilimine yakın olan saatler ile sonrasındaki bir saatlik dilim ve gece zaman dilimi için akşam zaman diliminin bittiği saatler ile gündüz zaman diliminin başlamasından bir saat önceki zaman dilimi olarak kabul edilmiştir.

Ancak bu noktada insan davranışları önemli olmakla birlikte bir çok değişken bulunmaktadır. Pik saatlerin belirlenmesi uzun yıllar süren çalışmalar neticesinde olmaktadır. Bu durumda bile yol güzergahı, yol kaplaması ve benzeri fiziksel koşulların değişmesi, yol boyunca yapılaşmanın sayısal bakımdan artması veya sosyal yapının değişmesi ile İdarelerin yeni kuracağı sosyal donatı alanlarının oluşması trafik akış karakteristiğini değiştirmektedir. Bu noktada yapılan sayımların yolu kullanan araç sayılarını kesin olarak bulması veya sınıflandırması gürültü modelleri için bir ön şart değildir. Ancak yolun akım karakteristiğinin tespit edilmesine yetecek kadar kesin sonuçlar bulunması önem arz etmektedir. Zira bir yol kesitinden geçecek araç sayısı yılın tüm zaman dilimlerinde birbirinden farklı olacaktır.

Tez kapsamında yapılan araç sayım planları Şekil 3.13'de şematik olarak gösterilen grafik baz alınarak planlanmıştır. Bu plana göre yol kesimi 6 adet ana parçaya ayrılmıştır. Ayrılan parçaların başlangıç ve bitiş noktalarında yolları birbirine bağlayan kavşakların olmasına özen gösterilmiştir.

Kavşaklarla ayrılan yol kesimlerinin uzun olması ve yol boyunca fazla sayıda küçük yan yol ile araç giriş ve çıkışının olduğu yol kesimlerinde ölçüm noktaları yol kesiminin başında ve sonunda olmak üzere teşkil edilmiştir. Bu kapsamda yoldan çıkan veya yola giren araçların sayılarının da sayım sonuçlarına etkisi dikkate alınmıştır.

Tez kapsamında modellenmesi yapılan yollarda gerçekleştirilen araç sayımları Çizelge 3.16'da verilmektedir.



Şekil 3.13. Araç sayım planı krokisi

Çizelge 3.16. Araç sayım sonuçları

Karayolu Bulvar Cadde	Günlük Toplam Araç Sayısı (adet)	Hafif Araç Sayısı (adet/saat)			Ağır Araç Sayısı (adet/saat)		
		Gündüz	Akşam	Gece	Gündüz	Akşam	Gece
Aşık Veysel	41.900	2.150	1.092	116	680	465	98
Dumlupınar K1	52.288	2.286	1.196	296	1.017	763	306
Dumlupınar K2	71.200	3.060	1.600	399	1.432	1.078	424
Fatih	35.304	1.818	1.118	420	271	237	182
Gazi kısım 1	44.324	2.832	1.380	242	170	133	39
Gazi kısım 2	6.236	313	164	56	86	62	12
Gazi kısım 3	42.308	2.727	1.329	221	146	115	36
Gazi kısım 4	44.324	2.832	1.380	242	170	133	39
Gazi kısım 5	46.412	2.937	1.477	251	194	143	44
Gazi kısım 6	39.528	2.484	1.210	213	187	147	43
Gazi kısım 7	18.388	944	708	216	146	115	36
Gazi kısım 8	70.832	3.054	1.863	261	1.542	835	350
Gazi kısım 9	48.376	2.512	1.237	171	712	539	152
Hürriyet	48.376	2.512	1.237	171	712	539	152
Kızılırmak	34.404	1.668	1.126	408	333	240	208
Vatan	38.632	2.304	1.080	174	300	252	83
Yeni Hal	57.236	2.180	1.183	92	1.557	1.097	317
Yeşilirmak	32.052	1.515	1.007	408	336	255	191
Yıldırım Beyazıt	28.280	1.452	893	355	217	190	135

Çizelge 3.16 incelendiğinde Gazi Bulvarı ve Dumlupınar Bulvarı sayımlarında farklı kısımların bulunduğu görülmektedir. Şekil 3.13'deki yol kesimlerinden farklı olarak sayım noktaları sayısı fazladır. Sayım yapılan, şerit ve yol kesimlerine modellemede yer verilmeyen ara yollardan girişim olması durumunun önüne geçilmesi için bir yol kesiminde birden fazla sayım yapılmıştır.

Ayrıca Çizelge 3.16 incelendiğinde Gazi kısım 1 adlı sayım noktası ile Gazi kısım 4 adlı sayım noktasının sayım sonuçlarının aynı olduğu görülmektedir. Bu durum verilerle ilgili bir yanlışlık olduğu anlamına gelmemektedir. İlgili yol kesiminde kavşak olarak değerlendirilmeyen bir yol ayrımında trafik akışının kesintiye uğradığı bir trafik lambası bulunmaktadır. Araçların negatif ve pozitif ivmelenmesini modellemek amacı ile bir yol kesimi aynı trafik miktarını barındıran iki farklı yol gibi düşünülmüştür.

4 ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Tez çalışmasında trafik gürültüsünün önlenmesi veya kabul edilebilir sınırlar içine çekilebilmesi amacı ile akustik modelleme yazılımlarının karar destek sistemleri kapsamında kullanılması ve gürültü azaltma amacıyla oluşturulan farklı senaryoların modelleme yazılımı üzerinde test edilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla çalışma alanı olarak Antalya şehri içerisinde bulunan Gazi Bulvarı seçilmiş, bu alanın coğrafi ve geometrik özellikleri modellenmiş, mevcut trafik akışı ve sath kaplaması ile gürültü haritası meydana getirilmiş olup gürültü azaltımı noktasında farklı önleyici senaryolar akustik model ve yazılım kullanarak irdelenmiştir. Ayrıca tez çalışmasında veri toplanması ve analizi noktasında çalışmalar yapılmış ve çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Geliştirilen metotlar veri toplama ve veri analizi aşamasında verimli şekilde kullanılmıştır. Bu metotlar; trafik akış miktarının belirlenmesi, araç sınıflarının tez çalışmasının amacına hizmet edecek şekilde yeniden sınıflandırılması ve model çıktılarının değerlendirilmesi konularını kapsamaktadır.

4.1 Gürültü Azaltım Senaryoları

Tez çalışması kapsamında belirlenen Gazi Bulvarı üzerinde bir tanesi gerçek durum modellemesi olmak kaydı ile 8 adet senaryo bazında modelleme yapılmıştır. Farklı senaryoların oluşturulmasının amacı karar vericilere verecekleri kararlarda destek olacak verileri toplamak ve bu verileri ihtiyaca göre analiz etmektir.

Bu kapsamda senaryolar değişik durumları ihtiva edecek şekilde dizayn edilmiştir. Tez kapsamında oluşturulan senaryolar ve barındırdıkları değişkenlerin özetleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Çizelgede trafik akış verisi Senaryo 1'de 2014 yılının araç sayımları olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.1. Oluşturulan senaryolardaki değişkenler ve durumları

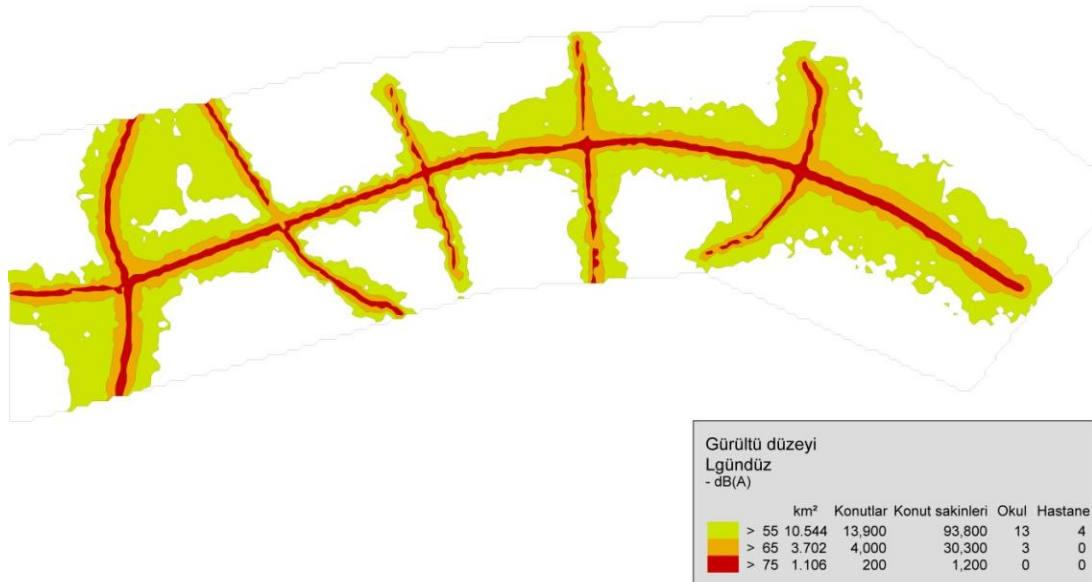
Senaryo No	Ağır Taşıt Hızı (km/saat)	Hafif Taşıt Hızı (km/saat)	Zemin Kaplaması	Trafik Akış Verisi	Bariyer Durumu
1 (Temel)	50	50	Düz	2014	- / -
2	70	90	Düz	2014	- / -
3	70	110	Düz	2014	- / -
4	50	50	Gözenekli	2014	- / -
5.1	70	90	Gözenekli	2014	- / -
5.2	70	110	Gözenekli	2014	- / -
6	50	50	Gözenekli	(-) %80 A	- / -
7	50	50	Gözenekli	(-) %80 A	+ / -
8	50	50	Gözenekli	(-) %80 A	+ / +

4.1.1 Gerçek yol geometrisi bazında değerlendirme

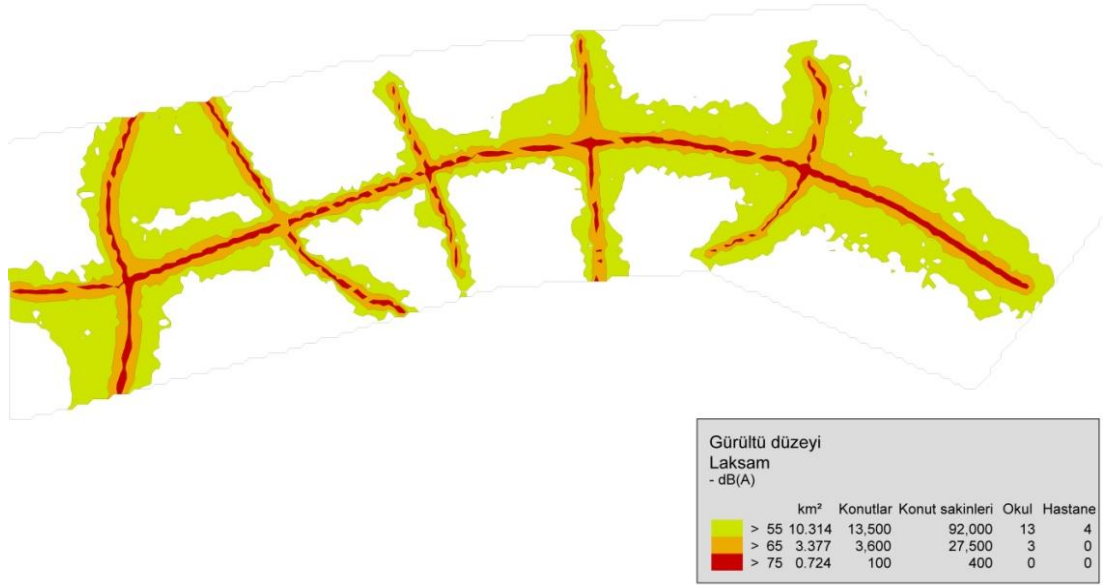
2014 yılı trafik sayımları ve gerçek yol geometrisinin kullanıldığı 1 numaralı senaryoda yol sathı düz asfalt olarak model içerisine yerleştirilmiştir. Ayrıca ortalama trafik akış hızı hız limitleri göz önünde bulundurularak hafif ve ağır taşıtlar için 50 km/saat olarak kabul edilmiştir. 1 numaralı senaryo için hesaplanan Lgag grafiği Şekil 4.1'de, Lgündüz grafiği Şekil 4.2'de, Lakşam grafiği Şekil 4.3'de ve Lgece grafiği Şekil 4.4'de verilmiştir.



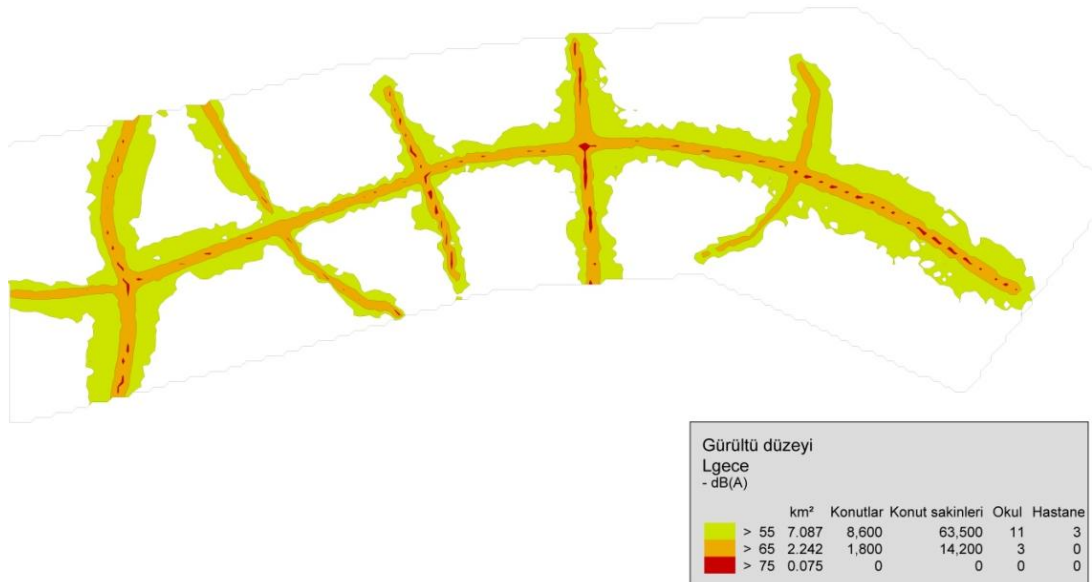
Şekil 4.1. Senaryo 1 için L_{gag} gürültü düzeyleri



Şekil 4.2. Senaryo 1 için $L_{gündüz}$ gürültü düzeyleri



Şekil 4.3. Senaryo 1 için $L_{akşam}$ gürültü düzeyleri



Şekil 4.4 Senaryo 1 için L_{gece} gürültü düzeyleri

L_{gag} grafiği incelendiğinde 75 dB'den büyük ses seviyesinin yol hattı boyunca meydana geldiği görülmektedir. 1.000 adet konutun, 8.000 adet kişinin ve 3 adet okulun 75 dB'den fazla sese maruz kaldığı belirlenmiştir.

Ayrıca 65 dB'den büyük ses seviyesine sahip alanda kalan konut sayısının 6.300 adet, nüfus sayısının 46.800 kişi, okul sayısının 5 olduğu bulunmuştur. Bu kapsamda 65 dB ses seviyesinden büyük sese maruz kalan hastane bulunmamaktadır.

Buna ek olarak 55 dB'den büyük ses seviyesine maruz kalan konut sayısının 20.700 adet, nüfus sayısının 138.000 kişi, okul sayısının 27 adet, hastane sayısının 6 olduğu bulunmuştur.

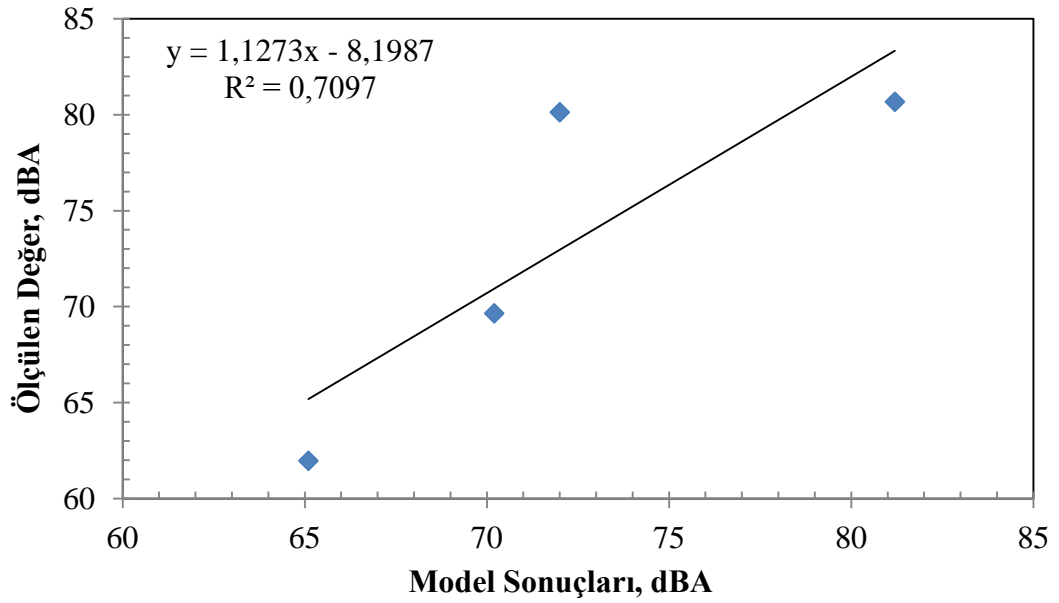
2014 yılı trafik verileri kullanılarak oluşturulan ve modellenen 1 numaralı senaryoda hesaplanan ses seviyeleri ile gerçek durumun karşılaştırması izelge 4.2'de verilmiştir. Bu aşamada gerçek arazi şartlarında yapılan ölçümlere bir çok farklı kaynağın etki ettiği unutulmamalıdır.

Çizelge 4.2. Model ile arazi ölçümlerinin karşılaştırma tablosu

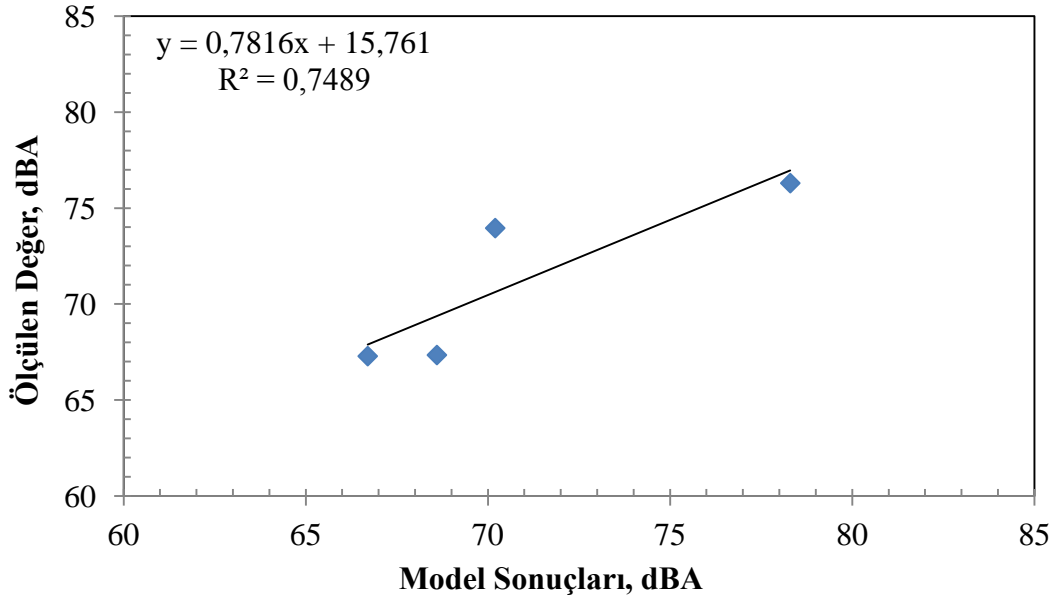
No	Kontrol Noktası Koordinat	Zaman Dilimi	Model Verisi, (dBA)		llen Veri (dBA)		Fark
			L_x	L_{gag}	L_{eq}	L_{gag}	
1	36°54'21,91" K 30°40'59,39" D	Gündüz	65,10		61,97		-3,13
		Akşam	66,70	67,70	67,28	69,68	0,58
		Gece	58,20		62,31		4,11
2	36°54'29,97" K 30°41'23,56" D	Gündüz	70,20		69,65		-0,55
		Akşam	68,60	73,20	67,34	71,37	-1,26
		Gece	64,80		62,72		-2,08
3	36°54'37,84" K 30°41'51,94" D	Gündüz	72,00		80,13		8,13
		Akşam	70,20	76,00	73,95	79,89	3,75
		Gece	66,90		69,95		3,05
4	36°54'37,51" K 30°44'19,92" D	Gündüz	81,20		80,67		-0,53
		Akşam	78,30	84,30	76,29	81,71	-2,01
		Gece	73,80		73,05		-0,75

Kontrol ölçümleri gündüz, akşam ve gece zaman dilimlerinde yapılmış olup ölçüm süresi 15 dakikadır. Model hesaplamaları standart gereği yerden 4 metre yükseklikte hesaplanmasına rağmen ölçümler zeminden 1,5 metre yükseklikte yapılmıştır. Ayrıca mümkün olduğunca trafik gürültüsünün tespit edilebilmesi ve harici kaynaklardan gelen seslerin ölçümlere etki etmesinin önüne geçilmesi için yol sınırına çok yakın olarak ölçümler yapılmıştır.

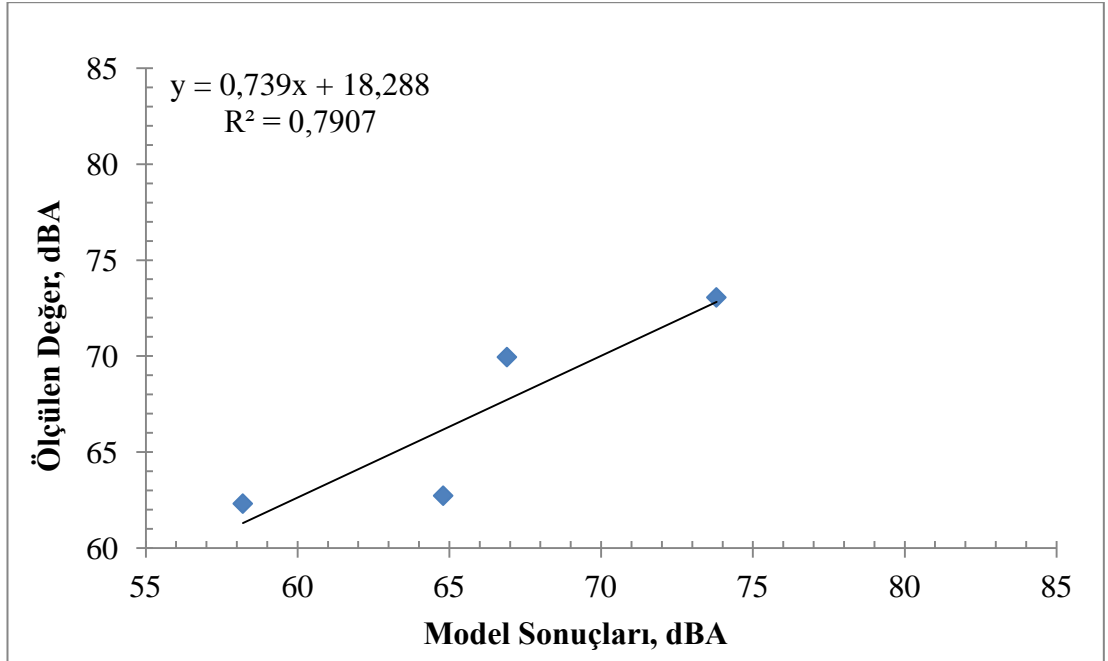
Gündüz, akşam ve gece zaman dilimleri için model sonuçları ile ölçülen değerler arasındaki ilişki sırası ile Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir. Eşitlik 3.4'ü kullanarak hesaplanan L_{gag} değerleri ile 1 numaralı senaryo çerçevesinde hesaplanan L_{gag} değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.8'de verilmiştir.



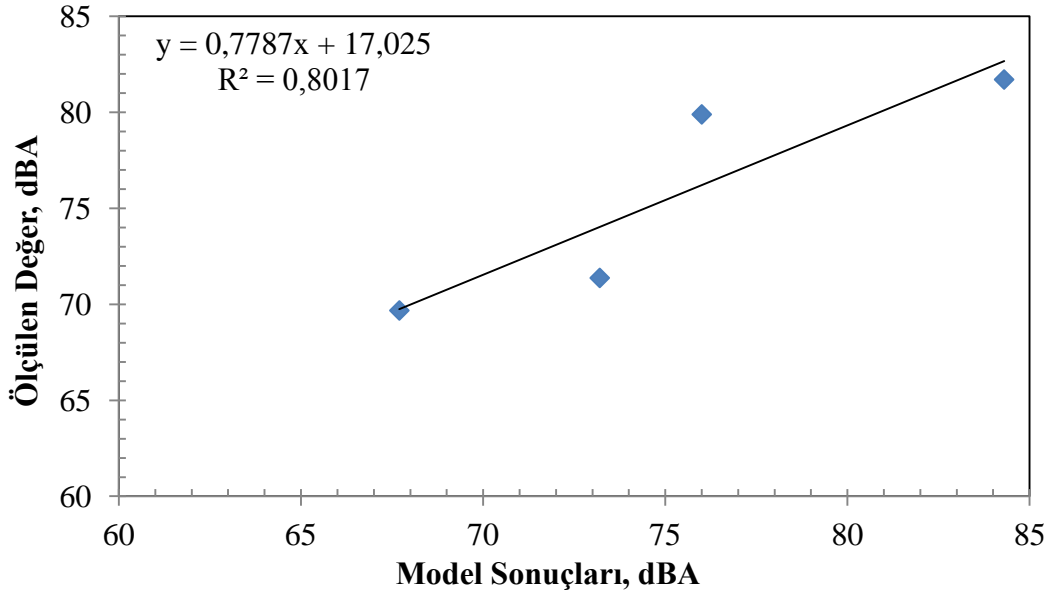
Şekil 4.5. Gündüz zaman dilimi için model sonuçları ile ölçüm değerleri arasındaki ilişki



Şekil 4.6. Akşam zaman dilimi için model sonuçları ile ölçüm değerleri arasındaki ilişki



Şekil 4.7. Gece zaman dilimi için model sonuçları ile ölçüm değerleri arasındaki ilişki



Şekil 4.8. L_{gag} değerleri bazında model ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırması

Görüleceği üzere hesaplanan L_{gag} değeri ile model sonucunda hesaplanan L_{gag} değerlerinin birbirleri ile orta derecede ilişkili ($R^2=0,8017$) olduğu görülmektedir. Bu nedenle model çalışmalarında sonuçların değerlendirmelerinde L_{gag} göstergesinin kullanılmasının, karar verme aşamasında, gerçek durumu daha iyi yansıtması açısından faydalı olacağı anlaşılmaktadır. Benzer bir şekilde Kasım 2011 ile Ocak 2012 tarihleri arasında Amerika Birleşik Devletlerinin 3 şehrinde yapılan bir çalışmada, toplam 72 adet noktada 10 dakikalık eşdeğer gürültü seviyeleri ölçülmüş ve FHWA (Federal Highway Administration) trafik tahmin modelinde aynı alanlar modellenmiştir. Model sonuçları ile ölçüm sonuçları arasındaki ilişki incelendiğinde R^2 değerlerinin 0,016 ila 0,78 arasında değiştiği görülmüştür (Lee, vd., 2014). Buna ek olarak 2015 yılında TÜBİTAK MAM tarafından hazırlanan ve Antalya İli içerisindeki karayollarının bir kısmını da kapsayan stratejik gürültü haritası projesinde belirlenen proje alanı içerisinde kalan yollarda yapılan 24 saatlik ölçüm sonuçları ile NMPB Routes 96 standardı kapsamındaki model sonuçlarının L_{gag} değerleri bazında aralarındaki ilişki incelendiğinde R^2 değerinin 0,96 olduğu görülmüştür (TÜBİTAK, 2015).

Ayrıca Avrupa Komisyonu tarafından oluşturulan Gürültü Maruziyeti Değerlendirme Çalışma Grubu tarafından hazırlanan Stratejik Gürültü Haritaları ve Gürültü

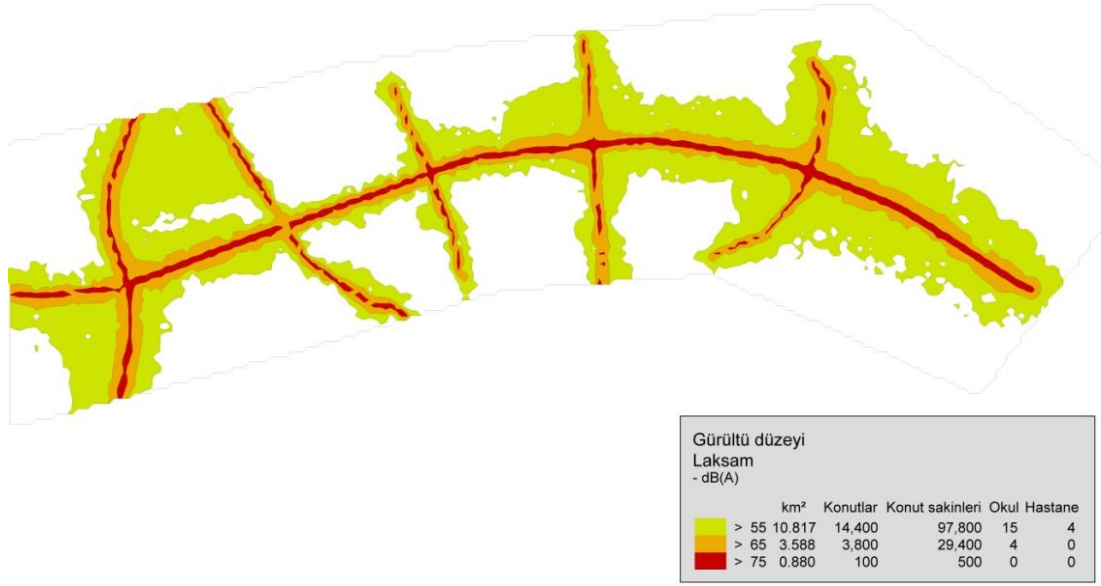
Maruziyetleri Üzerinde Veri Üretilmesi için İyi Uygulamalar Kılavuzu başlıklı çalışmada, gürültü modelleri ile bulunan ses seviyesinin, ölçüm sonuçları ile yakınlığının kaynaktan; 300 metrelik alan içerisinde 1 dBA, 600 metre mesafeye kadar 3 dBA ve 2 ila 3 kilometre mesafelere kadar ise en az 10 dBA' olacağı öngörüsünde bulunulmuştur (WG-AEN, 2006). Tez çalışmada bulunan $L_{gündüz}$, $L_{akşam}$ L_{gece} gürültü göstergeleri için model sonuçları ve ölçüm sonuçlarının farkının ortalamaları değerlendirildiğinde sadece 3 numaralı ölçüm noktasında 4,98 dBA olduğu, diğer noktalarda ise 1 dBA civarında olduğu görülmüştür.

4.1.2 Trafik akım hızının etkisi

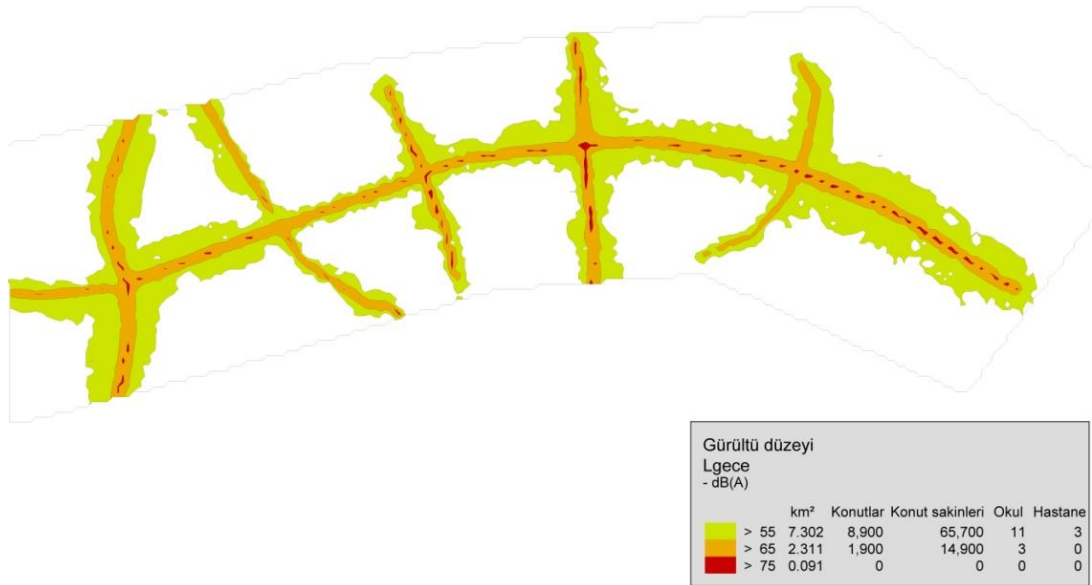
2014 yılı trafik verileri bazında trafik yoğunlukları kullanılarak trafik akış hızının arttırıldığı 2 numaralı senaryoda, yol sathının düz asfalt olduğu kabul edilmiştir. Hafif araç trafiği akış hızı 90 km/saat, ağır taşıt trafiği akış hızının ise 70 km/saat olduğu varsayımı ile modelleme yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda oluşan $L_{gündüz}$, $L_{akşam}$, L_{gece} ve L_{gag} seviyeleri bazında oluşturulan grafikler sırası ile Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



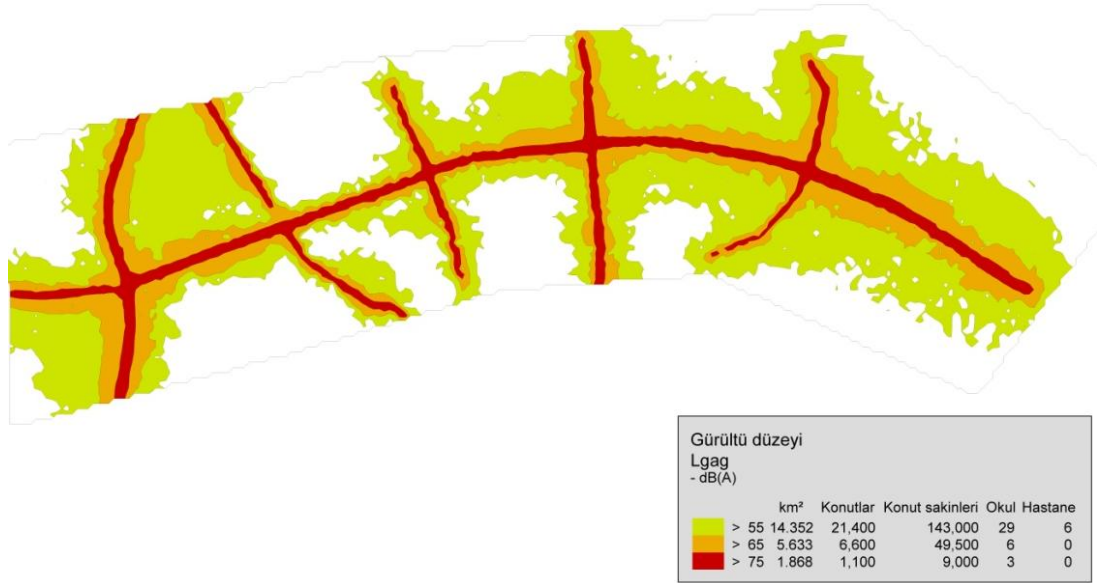
Şekil 4.9. Senaryo 2 için $L_{gündüz}$ gürültü düzeyleri



Şekil 4.10. Senaryo 2 için $L_{akşam}$ gürültü düzeyleri



Şekil 4.11. Senaryo 2 için L_{gece} gürültü düzeyleri



Şekil 4.12. Senaryo 2 için L_{gag} gürültü düzeyleri

Senaryo 1 ile Senaryo 2'den elde edilen L_{gag} verilerinin karşılaştırılması sonucunda, 75 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan; konut sayısının 1.000'den 1.100'e, nüfus sayısının 8.000'den 9.000'e, çıktığı görülmüştür. Ayrıca 75 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan okul sayısında bir artış görülmemiş olup ilgili ses seviyesi kategorisinde hastane bulunmamaktadır. Bu durumda hafif ve ağır taşıt hızlarındaki sırasıyla %80'lik ve %40'lık artışın maruz kalan konut sayısında %10'luk ve nüfus miktarında ise %12,5'luk artışa sebep olduğu görülmüştür.

Ayrıca 65 dBA'dan fazla ses seviyesine kalan; konut sayısının 6.300'den 6.600'e, nüfus sayısının 46.800'den 49.500'e, okul sayısının 5'den 6'ya çıktığı görülmüştür. 65 dBA'dan fazla sese maruz kalan hastane bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu durumda taşıt hızlarında meydana gelen artışın konut sayısında %4,8 ve nüfus sayısında %5,8'lik artış ortaya çıkardığı görülmüştür.

Ek olarak 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan; konut sayısının 20.700'den 21.400'e, nüfus miktarının 138.600'den 143.000'e, okul sayısının 27'den 29'a çıktığı görülmüştür. 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan hastane sayısının ise

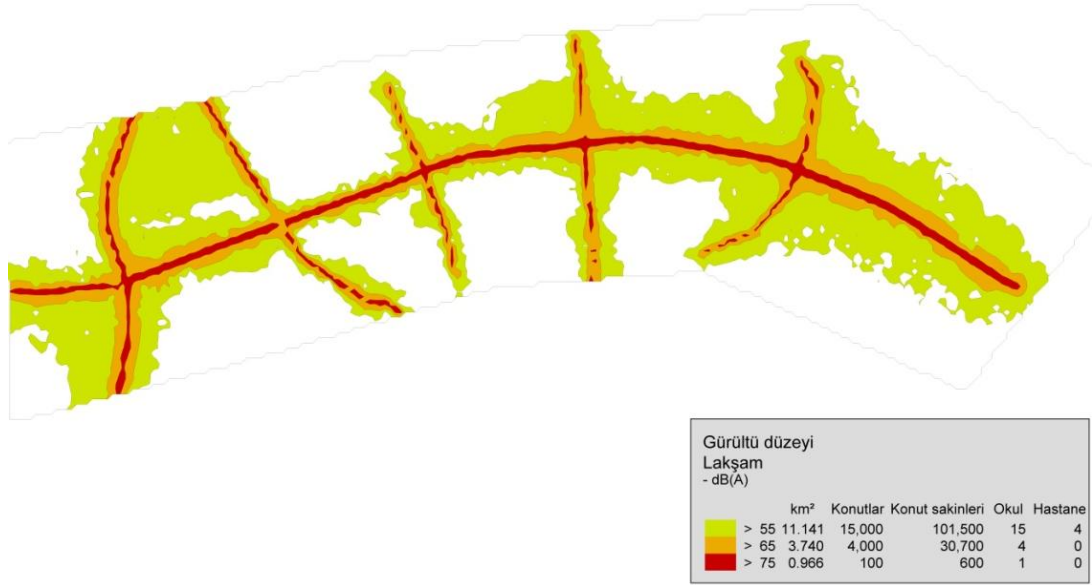
değişmediği görülmüştür. Bu durumda taşıt hızlarında meydana gelen artışın konut sayısında %3,4'lük, nüfus miktarında %3,2'lik artışa sebep olduğu görülmüştür.

4.1.3 Hafif araç trafiğinin hızının incelenmesi

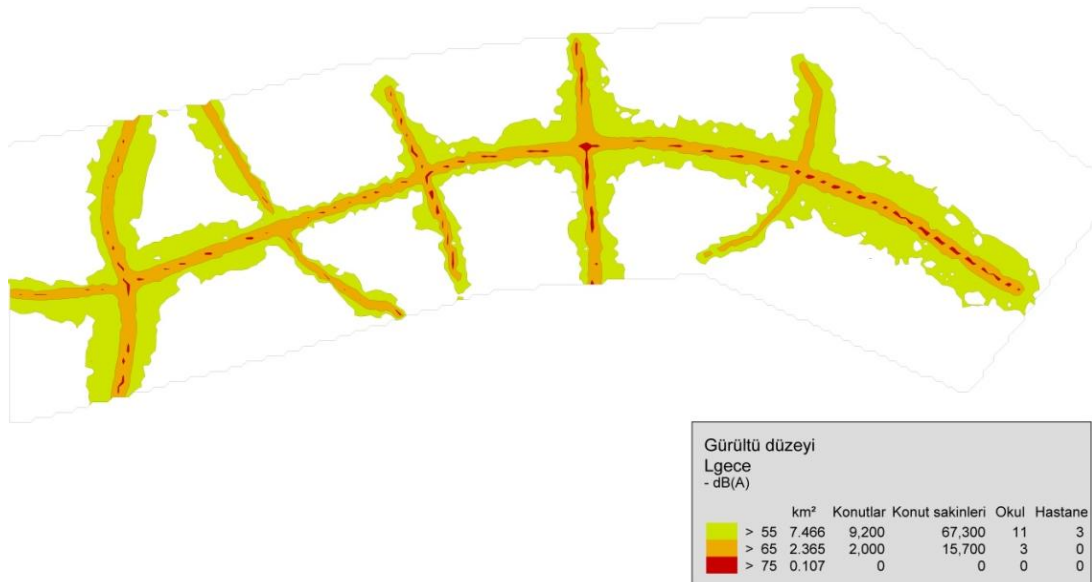
2014 yılı trafik akış verileri kullanılarak hafif araç hızlarının etkilerinin incelendiği 3 numaralı senaryoda, hafif araç hızları 110 km/saat olarak alınarak model çalıştırılmıştır. Bu senaryoda ağır araç hızları 2 numaralı senaryoda modellendiği şekli ile 70 km/saat olarak alınmıştır. Yol yüzey kaplaması düz asfalt olarak kabul edilmiştir. 3 numaralı senaryonun çalıştırılması ve hesaplamaların tamamlanmasına müteakip elde edilen sonuçlar $L_{gündüz}$, $L_{akşam}$, L_{gece} ve L_{gag} gürültü göstergeleri cinsinden sırasıyla Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir.



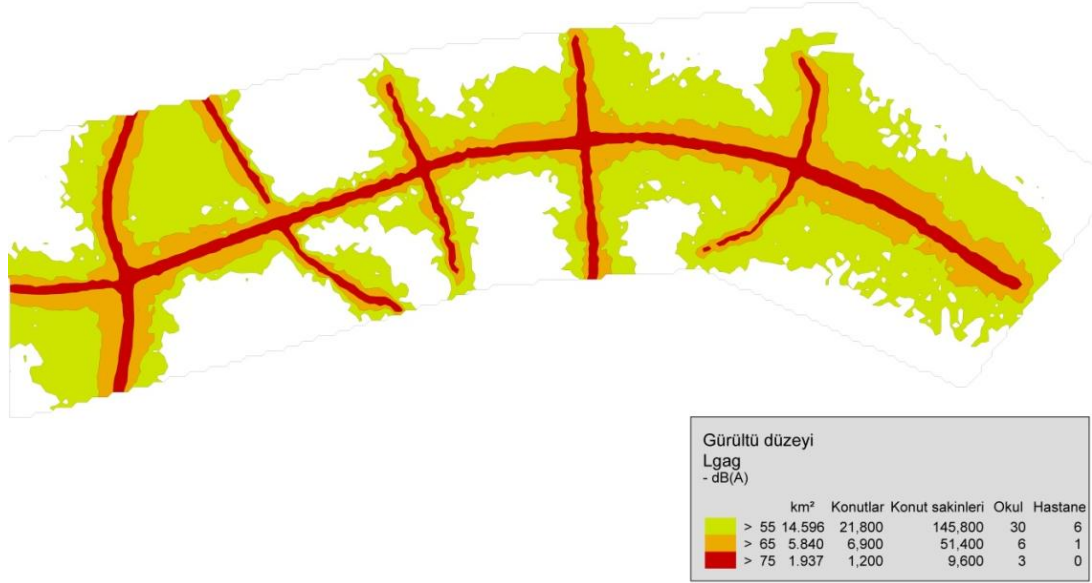
Şekil 4.13. Senaryo 3 için $L_{gündüz}$ gürültü düzeyleri



Şekil 4.14. Senaryo 3 için $L_{akşam}$ gürültü düzeyleri



Şekil 4.15. Senaryo 3 için L_{gece} gürültü düzeyleri



Şekil 4.16. Senaryo 3 için L_{gag} gürültü düzeyleri

Senaryo 1 ile Senaryo 3'den elde edilen L_{gag} verilerinin karşılaştırılması sonucunda, hafif ve ağır taşıt hızlarında meydana gelen sırasıyla %120 ve %40'lık artışın; 75 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan konut sayısını 1.000'den 1.200'e, nüfus miktarını 8.000'den 9.600'e çıkardığı görülmüştür. Okul sayısında herhangi bir artış görülmemiş olup 75 dBA'dan fazla sese maruz kalan hastane olmadığı görülmüştür. Bu durumda konut sayısında ve nüfus miktarında %20'lik artış olduğu görülmüştür.

Ayrıca 65 dBA'dan fazla sese maruz kalan konut sayısının 6.300'den 6.900'e, nüfus miktarının 46.800'den 51.400'e, okul sayısının 5'den 6'ya çıktığı görülmüştür. Hastane sayısı ise artarak 1 adet olmuştur. Bu durumda, taşıt hızlarında Senaryo 3 kapsamında meydana gelen artışın, konut sayısında ve nüfus miktarında sırasıyla %9,5'lik ve %9,8'lik artışa sebep olduğu görülmüştür.

Ek olarak 55 dBA'dan büyük gürültüye maruz kalan konut sayısının 20.700'den 21.800'e, Nüfus miktarının 138.600'den 145.800'e, okul sayısının 27'den 30'a çıktığı görülmüştür. Hastane sayısında ise artış görülmemiştir. Taşıt hızlarında Senaryo 3

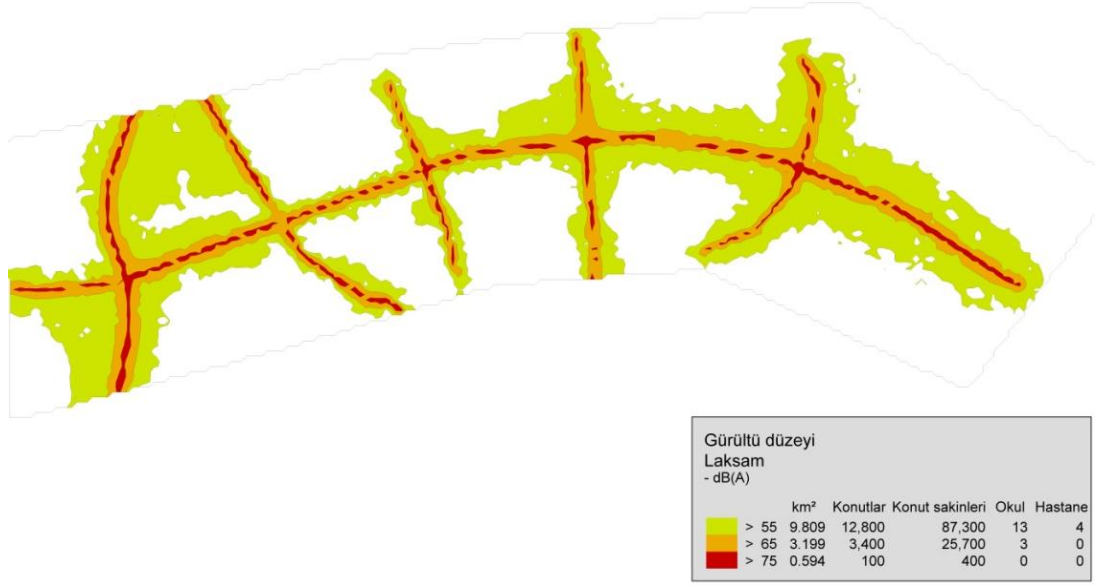
kapsamında meydana gelen araç hızları artışı sonucunda konut sayısında ve nüfus miktarında sırasıyla %5,3'lük ve 5,2'lik artışa sebep olduğu görülmüştür.

4.1.4 Yol yüzeyi kaplamasının etkisi

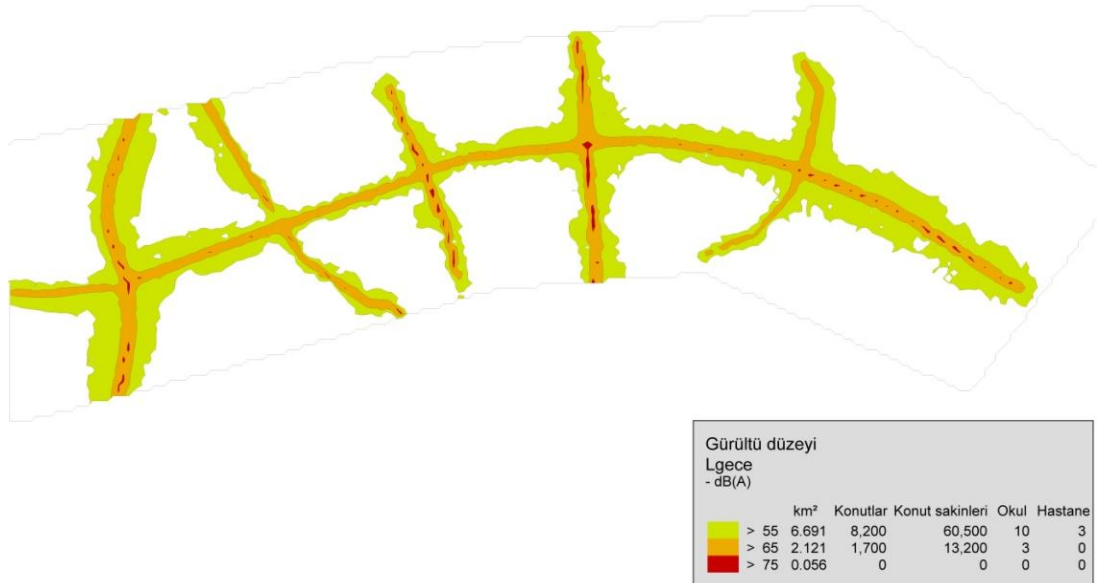
Yol yüzey kaplamasının etkisinin irdelendiği 4 numaralı senaryoda 2014 yılı trafik sayım sonuçları kullanılarak yol yüzey kaplamasının düz asfalt yerine gözenekli asfalt kullanılması halinde meydana gelebilecek değişim tahmin edilmeye çalışılmıştır. 4 numaralı senaryoda hafif ve ağır taşıt hızlarının 50 km/saat olduğu kabul edilerek modelleme çalıştırılmıştır. Modelleme sonuçları $L_{gündüz}$, $L_{akşam}$, L_{gece} ve L_{gag} gürültü göstergeleri cinsinden grafik olarak Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de sırası ile gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Senaryo 4 için $L_{gündüz}$ gürültü düzeyleri



Şekil 4.18. Senaryo 4 için $L_{akşam}$ gürültü düzeyleri



Şekil 4.19. Senaryo 4 için L_{gece} gürültü düzeyleri



Şekil 4.20. Senaryo 4 için L_{gag} gürültü düzeyleri

Senaryo 1 ile Senaryo 4'de elde edilen verilerin L_{gag} bazında karşılaştırılması, 75 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan; nüfus miktarını 8.000'den 7.600'e, okul sayısını 3'den 1'e azalttığı görülmektedir. Konut sayısında herhangi bir değişim bulunmayıp 75 dBA'dan fazla sese maruz kalan hastane olmadığı görülmüştür. Bu durumda zemin kaplamasının düz asfalttan gözenekli asfalta dönüştürülmesi sonucunda 75 dBA'dan fazla sese maruz kalan nüfus miktarında %5'lik azalma meydana gelmiştir.

Ayrıca 65 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan; konut sayısı 6.300'den 6.000'e, nüfus miktarının 46.800'den 44.200'e azaldığı görülmektedir. Mevcut ses seviyesi kategorisinde bulunan okul ve hastane sayılarında değişiklik olmamıştır. Bu durumda 65 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan konut sayısında ve nüfus miktarında sırasıyla %4,8'lik ve %5,6'lık azalma olduğu görülmüştür.

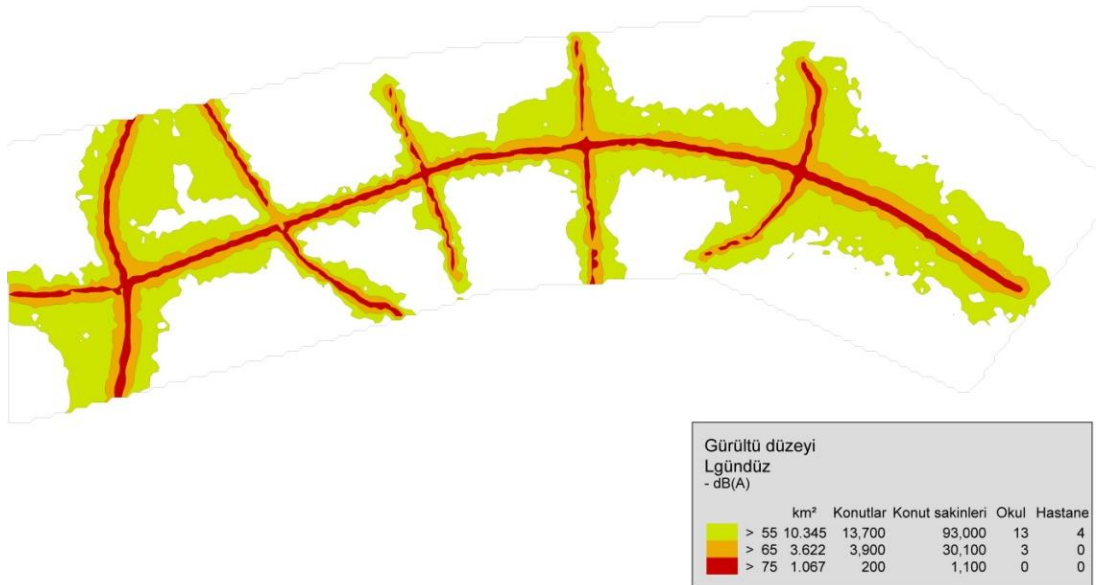
Buna ek olarak 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan; konut sayısının 20.700'den 20.100'e, nüfus miktarının 138.600'den 133.600'e, okul sayısının 27'den 26'ya azaldığı görülmüştür. Hastane sayısında ise bir değişim olmamıştır. Bu

durumda 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan konut sayısında ve nüfus miktarında sırasıyla %2,9'luk ve %3,6'lık azalma meydana gelmiştir.

4.1.5 Yol yüzeyi ve hız değişiminin irdelenmesi

2014 yılı trafik sayımlarının kullanılarak yol yüzey kaplaması ve araç hızlarının değişiminin irdelendiği 5 numaralı senaryoda, iki adet değişken kullanılmıştır. Bu değişkenlerden bir tanesi (5.1) yol yüzey kaplamasının düz asfalttan gözenekli asfalta değişmesi durumu olup diğer değişken (5.2) araç hızlarının değişmesidir.

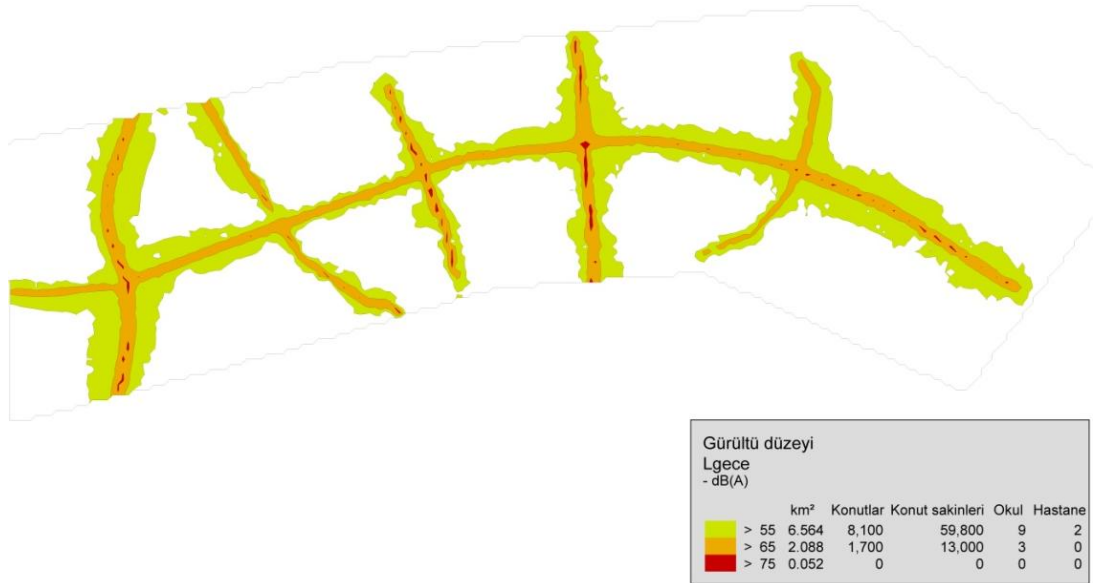
Araç hızları temel olarak hafif araçlarının hızlarının 90 km/saat ve ağır araç hızlarının ise 70 km/saat olması durumu olup 5 numaralı senaryonun ikinci kısmında hafif araç hızları 110 km/saat değerine arttırılmıştır. Bu kısımda ağır taşıt hızları 70 km/saat değerinde sabit tutulmuştur. 5 numaralı senaryonun birinci ve ikinci kısımları için model sonuçları $L_{gündüz}$, $L_{akşam}$, L_{gece} ve L_{gag} gürültü göstergeleri cinsinden Şekil 4.21 - Şekil 4.28'de gösterilmiştir.



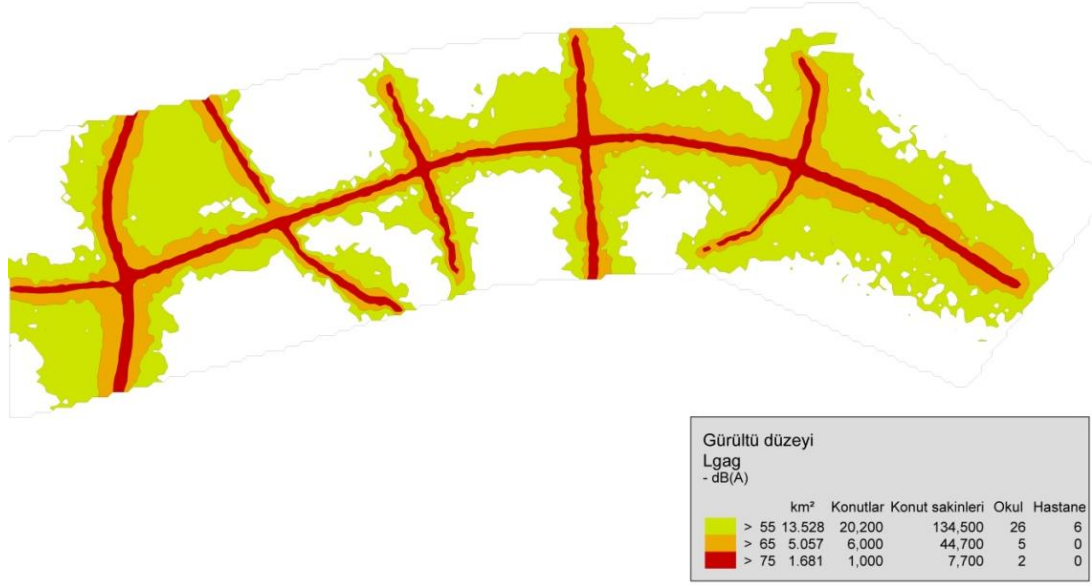
Şekil 4.21. Senaryo 5.1 için $L_{gündüz}$ gürültü düzeyleri



Şekil 4.22. Senaryo 5.1 için $L_{\text{akşam}}$ gürültü düzeyleri



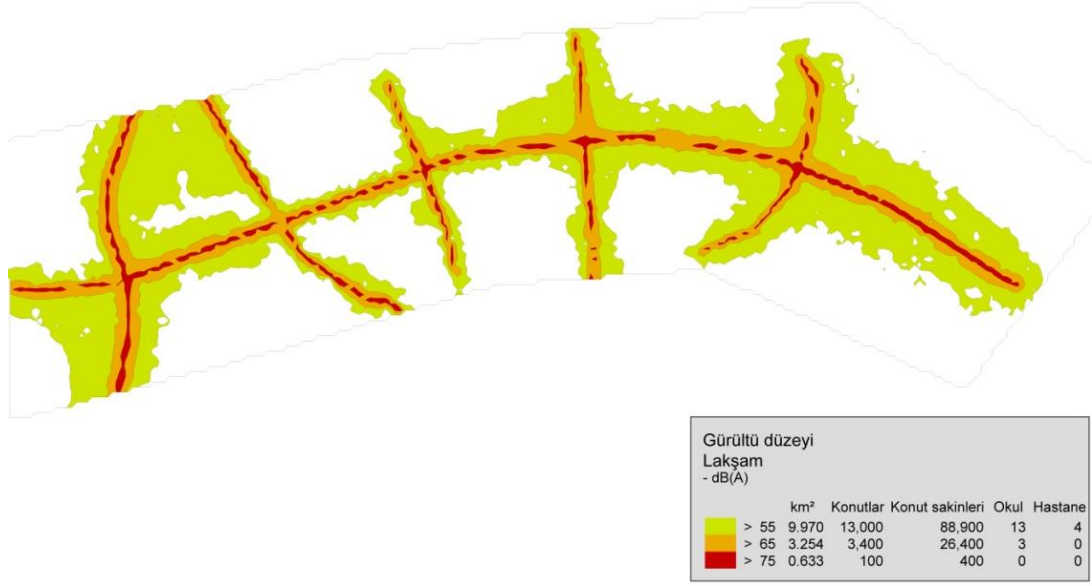
Şekil 4.23. Senaryo 5.1 için L_{gece} gürültü düzeyleri



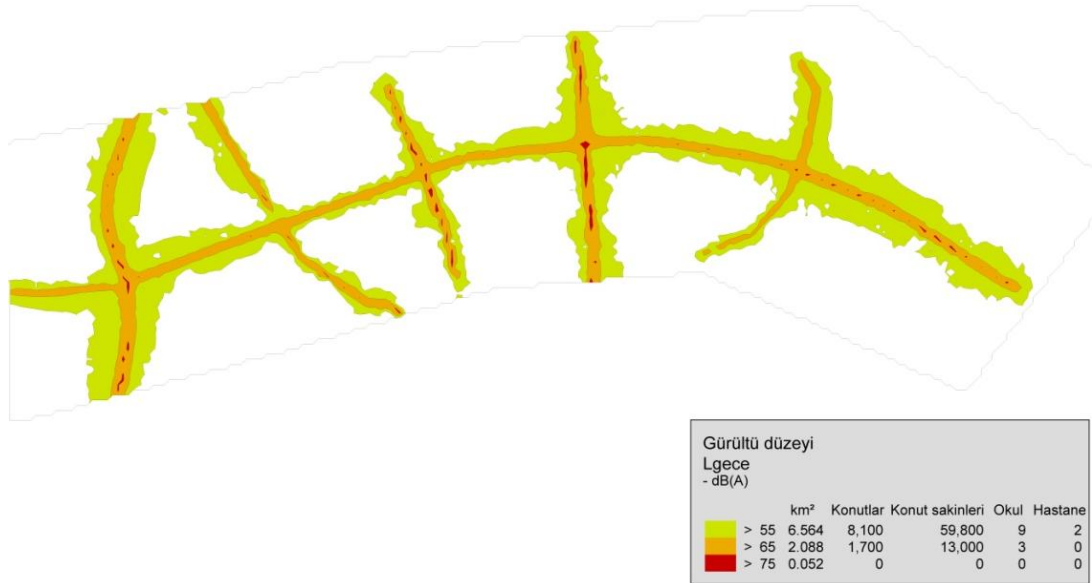
Şekil 4.24. Senaryo 5.1 için L_{gag} gürültü düzeyleri



Şekil 4.25. Senaryo 5.2 için L_{gündüz} gürültü düzeyleri



Şekil 4.26. Senaryo 5.2 için $L_{akşam}$ gürültü düzeyleri



Şekil 4.27. Senaryo 5.2 için L_{gece} gürültü düzeyleri



Şekil 4.28. Senaryo 5.2 için L_{gag} gürültü düzeyleri

Senaryo 1 ile Senaryo 5.1'de elde edilen verilerin L_{gag} gürültü göstergesi bağlamında karşılaştırılması sonucunda; 75 dBA'dan fazla gürültüye kalan Nüfus miktarının 8.000'den 7.700'e, okul sayısının 3'den 2'ye azaldığı görülmüştür. Konut sayısında ve hastane sayısında herhangi bir değişim olmamıştır. Bu durumda maruz kalan nüfus miktarının %3,8 oranında azaldığı görülmüştür.

Ayrıca 65 dBA'dan fazla gürültüye maruz kalan konut sayısının 6.300'den 6.000'e, nüfus miktarının 46.800'den 44.700'e azaldığı görülmüştür. Okul ve hastane sayılarının değişmediği görülmüştür. 65 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan konut sayılarının ve nüfus miktarlarının sırasıyla %4,8 ve %4,5 oranında azaldığı görülmüştür.

Ek olarak 55 dBA'dan fazla sese maruz kalan konut sayısının 20.700'den 20.200'e, nüfus miktarının 138.600'den 134.500'e, okul sayısının 27'den 26'ya azaldığı görülmüştür. Hastane sayısında ise bir değişim meydana gelmemiştir. Bu durumda 55 dBA'dan fazla sese maruz kalan konut sayısı ve nüfus miktarı sırası ile %2,4 ve %3 oranında azalmıştır.

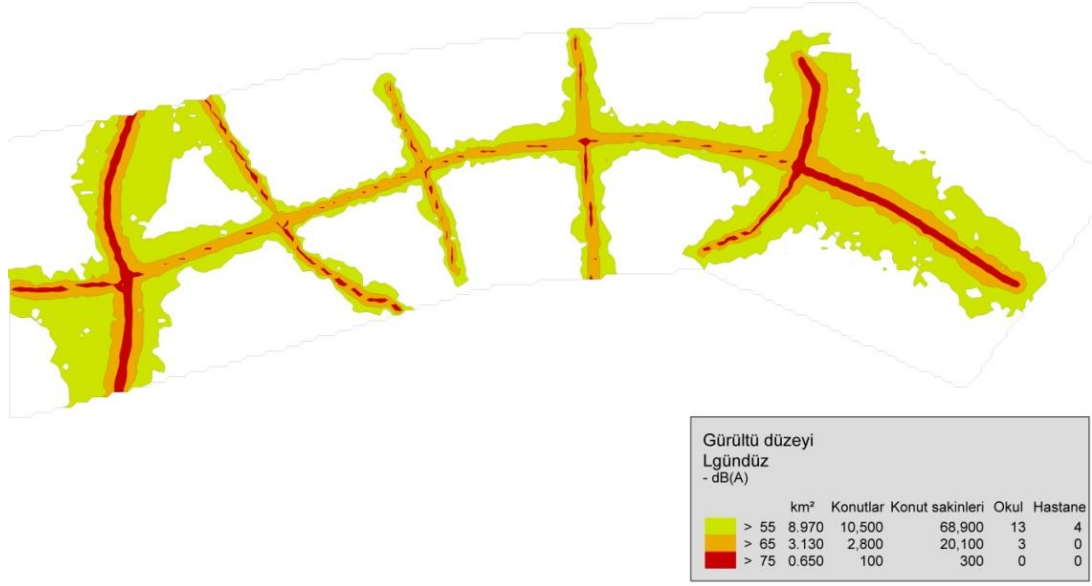
Senaryo 5.2'den elde edilen verilerin L_{gag} göstergesi cinsinden Senaryo 1 ile karşılaştırılması sonucunda; 75 dBA'dan fazla sese maruz kalan okul sayısının 3'den 0'a azaldığı görülmüştür. Bu sonucun dışında diğer ses maruziyetleri kategorilerinde Senaryo 5.1'e eşit sonuçlar elde edilmiştir.

4.1.6 Alternatif güzergah uygulamasının irdelenmesi

Alternatif güzergah uygulamasının irdelendiği 6 numaralı senaryoda, 2014 yılı trafik sayımları kullanılarak ağır taşıt trafiği %80 oranında azaltılmıştır. Teze konu olan yol kesiminden geçen ağır taşıt türleri servis, yolcu taşıyan minibüs ve benzeri araçlar ile sınırlandırılmış olup diğer tür ağır taşıtların alternatif güzergahlara yönlendirilmesi senaryosu modellenmiştir.

Senaryonun gerçek şartlara uygunluğunu arttırmak için teze konu yolu doğu batı istikametinde kullanılacak ağır taşıtların 1 numaralı kavşak noktasından 2:3 oranında güney ve kuzeydeki alternatif yollara aktarılması ve 5 numaralı kavşak noktasından, teze konu yolun akışına tekrar bağlandığı öngörülmüştür. Bu senaryoda hafif ve ağır taşıt hızlarının 50 km/saat değerinde olduğu kabul edilmiştir.

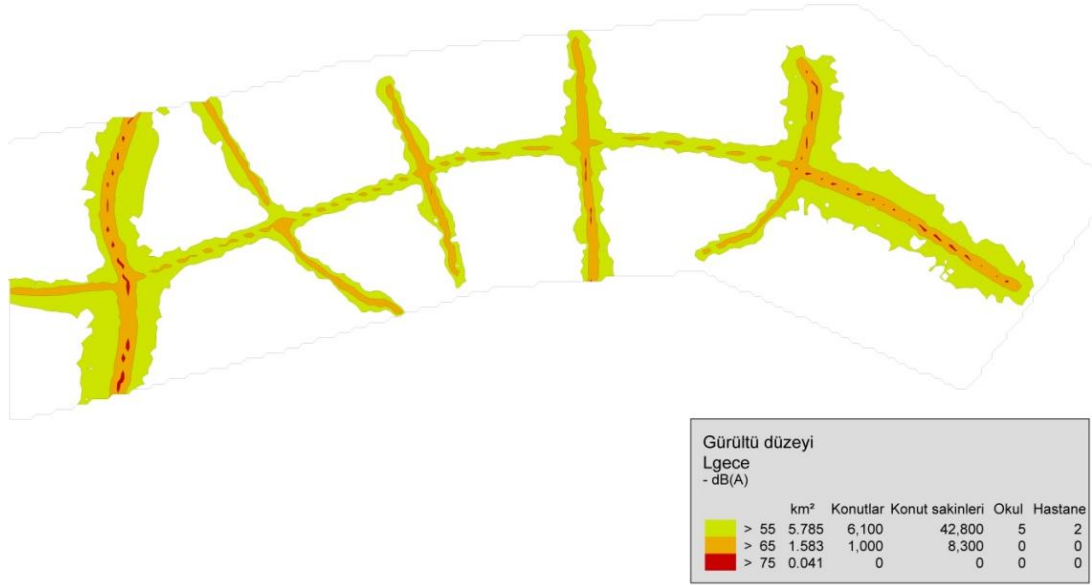
Öngörülen senaryo kapsamında modelce tahmin edilen ve $L_{gündüz}$, $L_{akşam}$, L_{gece} ve L_{gag} göstergeleri cinsinden hesaplanan grafikler Şekil 4.29 - Şekil 4.32'de gösterilmiştir.



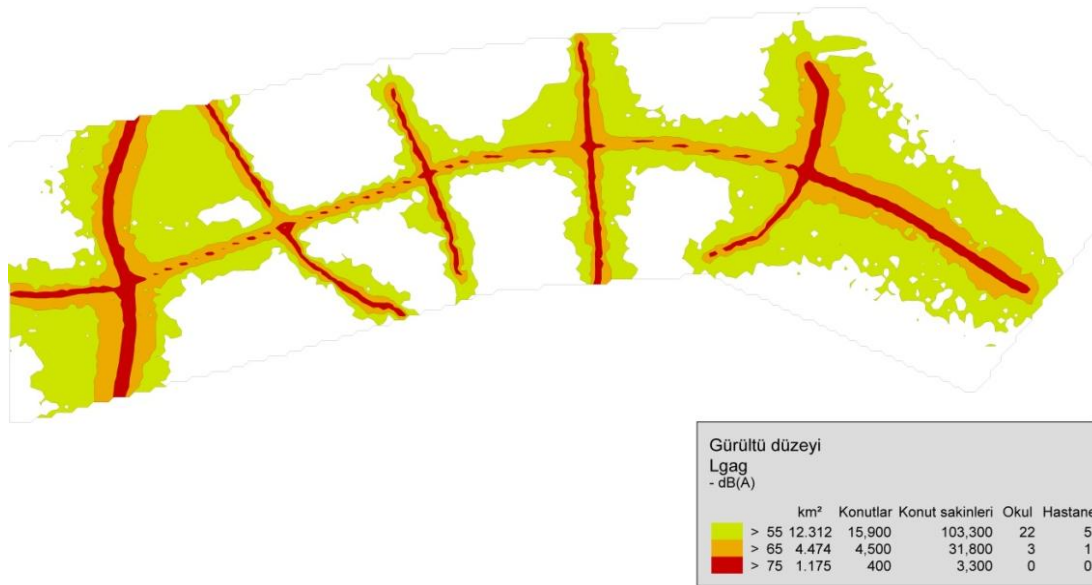
Şekil 4.29. Senaryo 6 için $L_{gündüz}$ gürültü düzeyleri



Şekil 4.30. Senaryo 6 için $L_{akşam}$ gürültü düzeyleri



Şekil 4.31. Senaryo 6 için L_{gece} gürültü düzeyleri



Şekil 4.32. Senaryo 6 için L_{gag} gürültü düzeyleri

Senaryo 1 ile Senaryo 6'da elde edilen verilerin L_{gag} göstergesi cinsinden karşılaştırılması sonucunda; sırası ile 75 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan konut sayısının 1.000'den 400'e, nüfus miktarının 8.000'den 3.300'e düştüğü görülmektedir. Okul sayısı ise Senaryo 1'de 3 iken Senaryo 6'da maruz kalan okul bulunmamaktadır. Hastane sayısında değişim olmamıştır. Bu durumda 75 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan konut sayısı ve nüfus miktarında sırasıyla %60 ve %58,8 oranında azalma olduğu görülmektedir.

Ayrıca 65 dBA'dan fazla gürültüye maruz kalan konut sayısı 6.300'den 4.500'e, nüfus miktarı 46.800'den 31.800'e, okul sayısı 5'den 3'e düşmüştür. Senaryo 1 azaldığı, hastane sayısının ise 0'dan 1'e arttığı görülmektedir. Hastane sayısındaki artış, ağır taşıtların alternatif güzergahlara yönlendirilmesi sebebiyle oluşan trafik yükünün alternatif güzergah üzerindeki yapılardaki sonucudur. Bu durumda 65 dBA'dan büyük ses seviyesine maruz kalan konut sayısı, nüfus miktarı sırasıyla %28,6 ve %32,1 oranında azalmıştır.

Ek olarak 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan konut sayısının 20.700'den 15.900'e, nüfus miktarının 138.600'den 103.300'e, okul sayısının 27'den 22'ye, hastane sayısının 6'dan 5'e azaldığı görülmüştür. Bu durumda 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan konut sayısı ve nüfus sayısı sırasıyla %23,2 ve %25,5 oranında azalmıştır.

4.1.7 Alternatif güzergah ve bariyer uygulamasının irdelenmesi

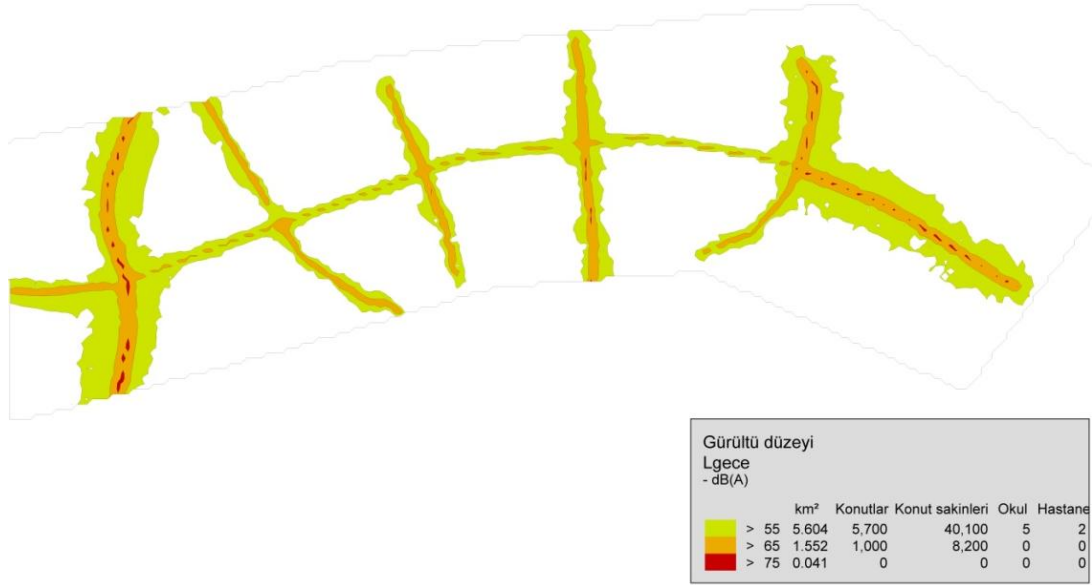
Alternatif güzergah ve bariyer uygulamasının irdelendiği 7 numaralı senaryoda 6 numaralı senaryodaki koşullara ek olarak teze konu yol üzerinde bariyer uygulaması yapılmıştır. Modellenen bariyer 3 metre yüksekliğinde ve düz uçlu bir bariyerdir. Alternatif güzergah olarak kullanılan kuzey güney istikametteki yollarda bariyer uygulaması yapılmamıştır. Öngörülen senaryo kapsamında modelce tahmin edilen ve $L_{gündüz}$, $L_{akşam}$, L_{gece} ve L_{gag} göstergeleri cinsinden oluşturulan grafikler Şekil 4.33 - Şekil 4.36'de gösterilmiştir.



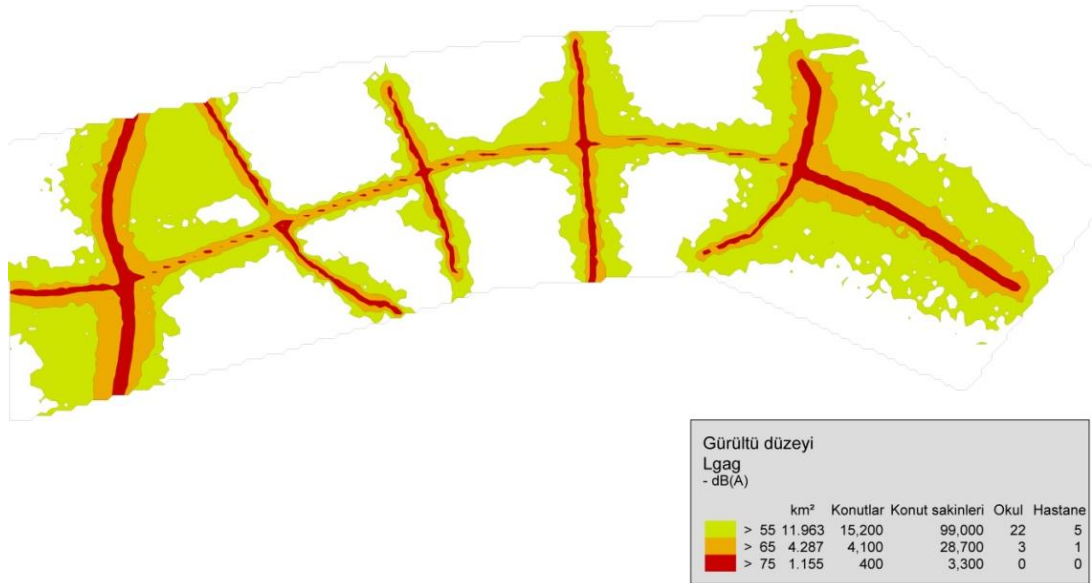
Şekil 4.33. Senaryo 7 için $L_{gündüz}$ gürültü düzeyleri



Şekil 4.34. Senaryo 7 için $L_{akşam}$ gürültü düzeyleri



Şekil 4.35. Senaryo 7 için L_{gece} gürültü düzeyleri



Şekil 4.36. Senaryo 7 için L_{gag} gürültü düzeyleri

Senaryo 1 ile Senaryo 7'de elde edilen verilerin L_{gag} göstergesi cinsinden karşılaştırılması sonucunda; 75 dBA'dan fazla gürültüye maruz kalan konut sayısı 1.000'den 400'e, nüfus miktarı 8.000'den 3.300'e azalmış olup okul ve hastane bulunmamaktadır. 75 dBA'dan fazla sese maruz kalan konut sayısı ve nüfus miktarı sırasıyla %60 ve %58,8 oranında azalmıştır.

Ayrıca 65 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan; konut sayısı 6.300'den 4.100'e, nüfus miktarı 46.800'den 28.700'e, okul sayısı 5'den 3'e düşmektedir. Hastane sayısı ise 1 olarak bulunmuştur. 65 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan konut sayısı ve nüfus miktarı sırası ile %34,9 ve %38,7 oranında azalmıştır.

Ek olarak 55 dBA'dan fazla sese maruz kalan; konut sayısı 20.700'den 15.200'e, nüfus miktarı 138.600'den 99.000'e, okul sayısı 27'den 22'ye ve hastane sayısı 6'dan 5'e azalmıştır. Bu durumda 55 dBA'dan fazla sese maruz kalan konut sayısı ve nüfus miktarı sırasıyla %26,6 ve %28,6 oranında azalmıştır.

4.1.8 Alternatif güzergahlarda bariyer uygulamasının irdelenmesi

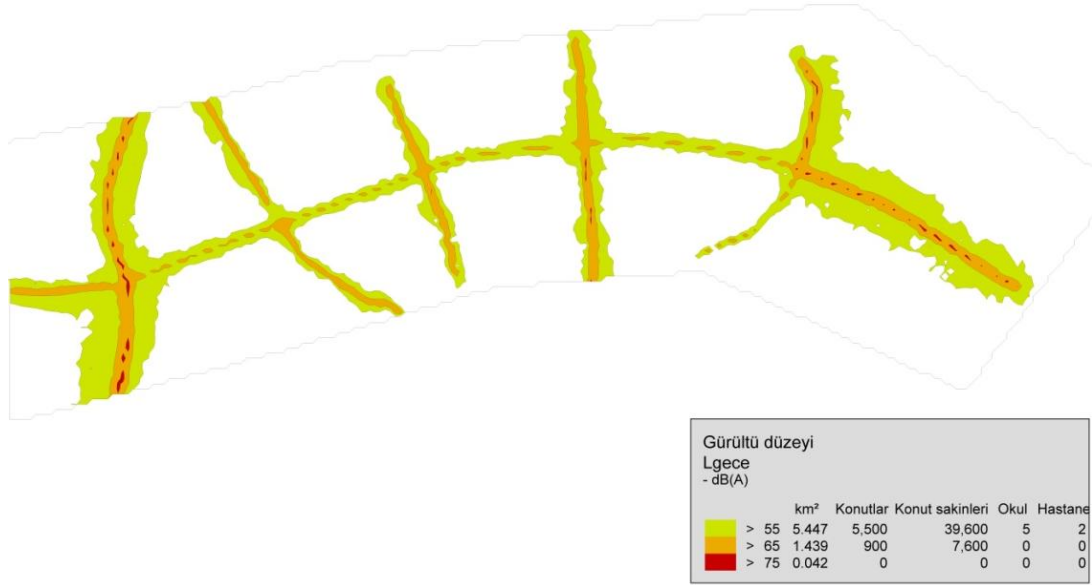
Ağır taşıtların alternatif güzergahlara yönlendirilmesi ile teze konu yol kesitinde ağır taşıtlardan kaynaklanan ses emisyonunun azaltılması amaçlanmıştır. Ancak ağır taşıtlar alternatif güzergahlar olan kuzey ve güney yönlerde bulunan yollarda ağır taşıt miktarının artmasından dolayı ses emisyonu artmıştır. Ses emisyonunun artması ve buna bağlı olarak maruziyetlerin artması sebebiyle Senaryo 8'de teze konu yol kesitinde uygulanan bariyer uygulamasına ek olarak alternatif yollarda da bariyer uygulaması yapılmıştır. 8 numaralı senaryo için $L_{gündüz}$, $L_{akşam}$, L_{gece} ve L_{gag} göstergeleri cinsinden hesaplanan grafikler Şekil 4.37 - Şekil 4.40'da gösterilmiştir.



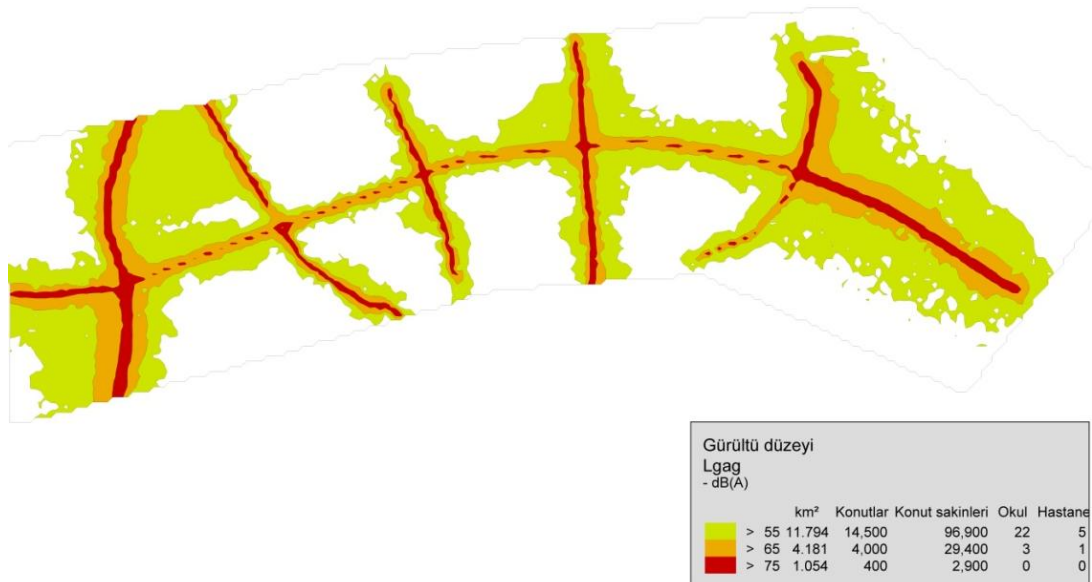
Şekil 4.37. Senaryo 8 için $L_{gündüz}$ gürültü düzeyleri



Şekil 4.38. Senaryo 8 için $L_{akşam}$ gürültü düzeyleri



Şekil 4.39. Senaryo 8 için L_{gece} gürültü düzeyleri



Şekil 4.40. Senaryo 8 için L_{gag} gürültü düzeyleri

Senaryo 1 ile Senaryo 8'de elde edilen verilerin L_{gag} göstergesi cinsinden karşılaştırılması sonucunda; 75 dBA'dan fazla gürültüye maruz kalan konut sayısının 1.000'den 400'e, nüfus miktarının 8.000'den 2.900'e azaldığı görülmüştür. Söz konusu ses seviyesi kategorisinde okul ve hastane bulunmamaktadır. Bu durumda 75 dBA'dan fazla gürültüye maruz kalan konut sayısı ve nüfus miktarı sırasıyla %60 ve %63,8 oranında azalmıştır.

Ayrıca 65 dBA'dan fazla sese maruz kalan; konut sayısı 6.300'den 4.000'e, nüfus miktarı 46.800'den 29.400'e, okul sayısı 5'den 3'e azalmıştır. Söz konusu ses seviyesi kategorisinde hastane sayısı 1 olarak bulunmuştur. Bu durumda 65 dBA'dan fazla sese maruz kalan konut sayısı ve nüfus miktarı sırasıyla %36,5 ve %37,2 oranında azalmıştır.

Ek olarak 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan konut sayısının 20.700'den 14.500'e adet, nüfus miktarının 138.600'den 96.900'e, okul sayısının 27'den 22'ye ve hastane sayısının 6'dan 5'e azaldığı görülmektedir. Bu durumda 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan konut sayısı ve nüfus sayısı sırasıyla %30 ve %30,1 oranında azalmıştır.

4.2 Gürültü Azaltım Senaryolarının Karşılaştırılması

Tez çalışmasında trafik gürültüsü ile ilgili olarak uygulanabilecek önlemler, senaryolar oluşturularak modellenmiştir. Bu senaryolarda temel prensip, gürültü emisyonlarını değiştiren faktörleri tespit etmek ve emisyonların azaltılması amacıyla uygulanabilecek; kaynağında ve yayılım yolunda alınacak önlemleri sayısal ifadeler şeklinde ortaya koymaktır. Kaynağında alınacak tedbirler bağlamında araç sayısının azaltılmasını, araç sürüş hızlarının düşürülmesini, zemin kaplama malzemesinin iyileştirmesini kapsayan senaryolar üretilirken, sesin yayılım yolunda alınacak önlemler kapsamında bariyer uygulamaları senaryolaştırılmıştır.

Tez kapsamında oluşturulan senaryolar, senaryo değişkenleri ve bulunan veriler özet olarak Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. 55 dBA'dan fazla gürültüye maruziyetin Lgag göstergesi üzerinden değerlendirilmesi

Senaryo	Değişken	Maruziyet Parametreleri				
		Alan km ²	Konut	Nüfus	Okul	Hastane
1	V _H = 50 km/saat V _A = 50 km/saat ZK= D.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	13.975	20.700	138.600	27	6
2	V _H = 90 km/saat V _A = 70 km/saat ZK= D.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	14.352	21.400	143.000	29	6
3	V _H = 110 km/saat V _A = 70 km/saat ZK= D.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	14.596	21.800	145.800	30	6
4	V _H = 50 km/saat V _A = 50 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	13.510	20.100	133.600	26	6
5.1	V _H = 90 km/saat V _A = 70 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	13.528	20.200	134.500	26	6
5.2	V _H = 110 km/saat V _A = 70 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	13.528	20.200	134.500	26	6
6	V _H = 50 km/saat V _A = 50 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 (-%80) Bariyer= (-)	12.312	15.900	103.300	22	5
7	V _H = 50 km/saat V _A = 50 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 (-%80) Bariyer= (+/-)	11.963	15.200	99.000	22	5
8	V _H = 50 km/saat V _A = 50 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 (-%80) Bariyer= (+/+)	11.794	14.500	96.900	22	5

Çizelge 4.4. 65 dBA'dan fazla gürültüye maruziyetin L_{gag} göstergesi üzerinden değerlendirilmesi

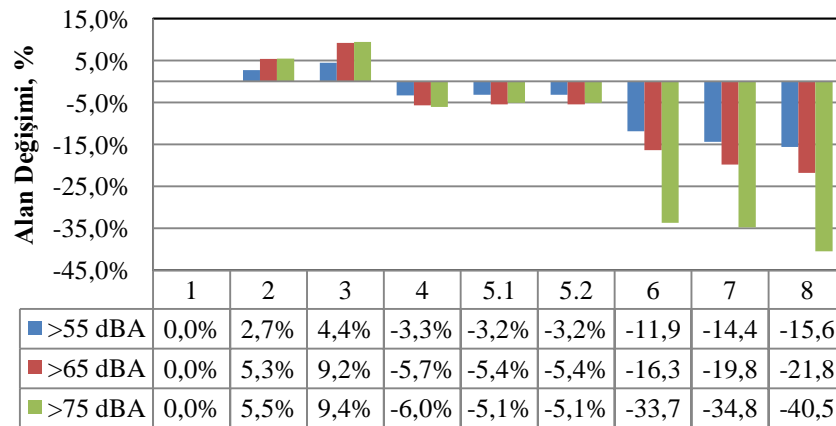
Senaryo	Değişken	Maruziyet Parametreleri				
		Alan km ²	Konut	Nüfus	Okul	Hastane
1	V _H = 50 km/saat V _A = 50 km/saat ZK= D.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	5.348	6.300	46.800	5	0
2	V _H = 90 km/saat V _A = 70 km/saat ZK= D.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	5.633	6.600	49.500	6	0
3	V _H = 110 km/saat V _A = 70 km/saat ZK= D.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	5.840	6.900	51.400	6	1
4	V _H = 50 km/saat V _A = 50 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	5.043	6.000	44.200	5	0
5.1	V _H = 90 km/saat V _A = 70 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	5.057	6.000	44.700	5	0
5.2	V _H = 110 km/saat V _A = 70 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	5.057	6.000	44.700	5	0
6	V _H = 50 km/saat V _A = 50 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 (-%80) Bariyer= (-)	4.474	4.500	31.800	3	1
7	V _H = 50 km/saat V _A = 50 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 (-%80) Bariyer= (+/-)	4.287	4.100	28.700	3	1
8	V _H = 50 km/saat V _A = 50 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 (-%80) Bariyer= (+/+)	4.181	4.000	29.400	3	1

Çizelge 4.5. 75 dBA'dan fazla gürültüye maruziyetin Lgag göstergesi üzerinden değerlendirilmesi

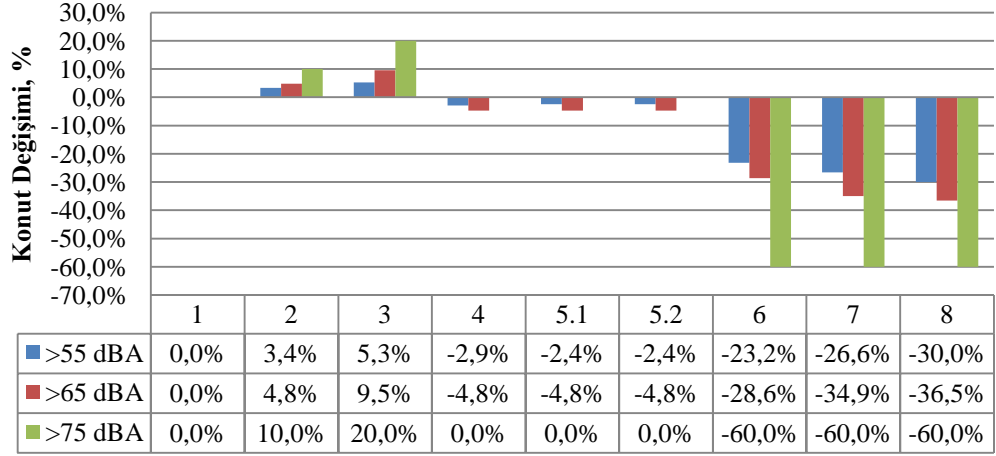
Senaryo	Değişken	Maruziyet Parametreleri				
		Alan km ²	Konut	Nüfus	Okul	Hastane
1	V _H = 50 km/saat V _A = 50 km/saat ZK= D.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	1.771	1.000	8.000	3	0
2	V _H = 90 km/saat V _A = 70 km/saat ZK= D.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	1.868	1.100	9.000	3	0
3	V _H = 110 km/saat V _A = 70 km/saat ZK= D.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	1.937	1.200	9.600	3	0
4	V _H = 50 km/saat V _A = 50 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	1.664	1.000	7.600	1	0
5.1	V _H = 90 km/saat V _A = 70 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	1.681	1.000	7.700	2	0
5.2	V _H = 110 km/saat V _A = 70 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 Bariyer= (-)	1.681	1.000	7.700	2	0
6	V _H = 50 km/saat V _A = 50 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 (-%80) Bariyer= (-)	1.175	400	3.300	0	0
7	V _H = 50 km/saat V _A = 50 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 (-%80) Bariyer= (+/-)	1.155	400	3.300	0	0
8	V _H = 50 km/saat V _A = 50 km/saat ZK= G.A. Q= 2014 (-%80) Bariyer= (+/+)	1.054	400	2.900	0	0

Senaryolar L_{gag} gürültü göstergesi cinsinden özetlenmiş olup ses seviyeleri kategorilerine göre maruziyetleri; alan, konut sayısı, nüfus miktarı, okul sayısı ve hastane sayısı bazında göstermektedir. Ayrıca çizelgelerde ses seviyesinin değişmesine etki eden ve maruziyetleri etkileyen parametreler olan hafif araç hızı (V_H), ağır araç hızı (V_A), zemin kaplama türü (ZK) ve trafik akış yoğunluğu (Q) karşılaştırmanın kolaylaştırılması için ayrı bir sütunda verilmiştir. Zemin kaplaması; düz asfalt (D.A.) ve gözenekli asfalt (G.A.) olmak üzere değiştirilmiştir. Trafik akış yoğunluğu yıl bazında verilmekte olup trafik yoğunluğu ve sayımları ile ilgili ayrıntılı bilgi Çizelge 3.16'da verilmiştir. Senaryolarda bariyer kullanma durumu (+/-), (+/+) ve (-) ifadeleri ile gösterilmiştir. (+/-) ifadesi teze konu olan yol kesitinde bariyer uygulaması yapıldığı, alternatif güzergahlarda yapılmadığı anlamını taşımaktadır. (+/+) ifadesi ise teze konu yol kesiti ve alternatif güzergahlarda bariyer uygulaması yapıldığı anlamına gelmektedir. (-) ifadesi ise bariyer uygulanmadığı anlamına gelmektedir. Ayrıca oluşturulan senaryolar temel senaryo olan Senaryo 1 ile ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sayesinde karar verici makamların kullanabilecekleri veriler oluşturulmuştur. Diğer bir değişle gürültü model yazılımları karar destek sistemleri bağlamında kullanılmıştır.

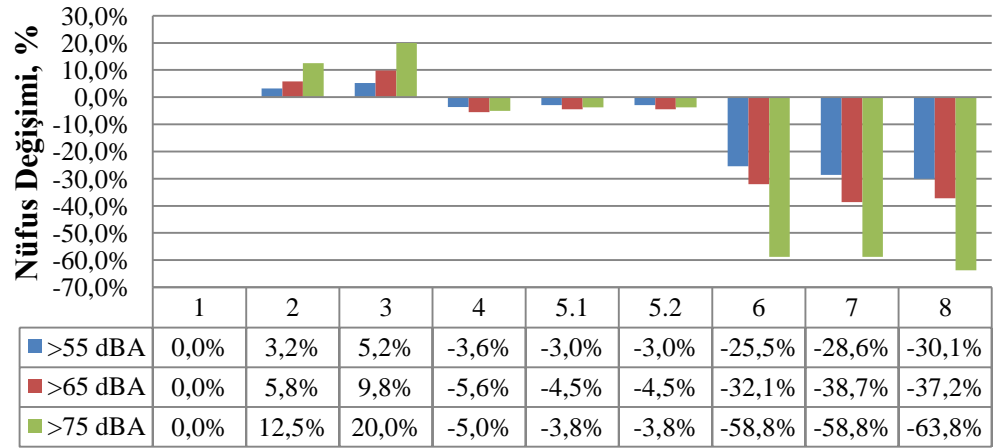
Senaryoların, temel senaryo olan, trafik akış hızının hafif ve ağır taşıtlar için 50 km/saat olarak kabul edildiği, zemin kaplamasının gözenekli asfalt olarak öngörüldüğü 1 numaralı senaryoya göre kıyaslanmaları sırasıyla Şekil 4.41'de, Şekil 4.42'de ve Şekil 4.43'de alan, konut sayısı ve nüfus bazında gösterilmiştir.



Şekil 4.41. Senaryolara göre ses seviyesi aralıkları bazında etkilenen alanların kıyaslanması



Şekil 4.42. Senaryolara göre ses seviyesi aralıkları bazında etkilenen konut sayısının kıyaslanması



Şekil 4.43. Senaryolara göre ses seviyesi aralıkları bazında etkilenen nüfusun kıyaslanması

Ayrıca tez kapsamında oluşturulan senaryolar temel senaryo ile karşılaştırıldıkları gibi birbirleriyle de karşılaştırılmışlardır. Bu karşılaştırmalarda amaç trafik gürültüsü ile ilgili değişkenlerin maruziyetler üzerine etkilerini belirlemektir.

Bu kapsamda Çizelge 4.6'de oluşturulan senaryolar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca karşılaştırmalardan beklenen hedefler gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Senaryo karşılaştırılması ve hedefleri

Karşılaştırılan Senaryolar		Hedef
2	3	Zemin kaplamasının düz asfalt olması durumunda hafif araç hızlarındaki artışın etkisinin irdelenmesi,
1	2	Zemin kaplamasının düz asfalt olması durumunda hafif ve ağır araç hızlarındaki artışın etkisinin irdelenmesi
1	4	Ağır ve hafif araçlar için düşük hız durumunda zemin kaplamasının düz asfalttan gözenekli asfalta dönüştürülmesinin etkisinin irdelenmesi
5.1	5.2	Zemin kaplamasının gözenekli asfalt olması durumunda hafif araç hızlarındaki artışın etkisinin irdelenmesi
4	5.1	Zemin kaplamasının gözenekli asfalt olması durumunda hafif ve ağır araç hızlarının artışının etkisinin irdelenmesi
4	6	Zemin kaplamasının gözenekli asfalt olması durumunda alternatif güzergah uygulamasının etkisinin irdelenmesi
4	7	Zemin kaplamasının gözenekli asfalt olması durumunda hedef yol hattında bariyer uygulamasının etkisinin irdelenmesi
4	8	Zemin kaplamasının gözenekli asfalt olması durumunda hedef yol ve alternatif güzergahlarda bariyer uygulamasının etkisinin irdelenmesi
3	5.2	Ağır ve hafif taşıtlar için yüksek hız durumunda zemin kaplamasının düz asfalttan gözenekli asfalta dönüştürülmesinin etkisinin irdelenmesi

Senaryo 2 ve Senaryo 3'un karşılaştırılmasıyla, zemin kaplamasının düz asfalt olması durumunda, hafif araç hızlarının %22 artması durumu irdelenmiştir. 75 dBA, 65 dBA ve 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan nüfus sayısında sırasıyla %6,25'lik, %3,70'lik ve %1,92'lik artış olduğu görülmüştür.

Senaryo 1 ve Senaryo 2'nin karşılaştırılmasıyla, zemin kaplamasının düz asfalt olması durumunda, hafif araç hızlarının %80 ve ağır araç hızlarının %40 artması durumu irdelenmiştir. 75 dBA, 65 dBA ve 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan nüfus sayısında sırasıyla %11,11'lik, %5,45'lik ve %3,08'lik artış olduğu görülmüştür.

Senaryo 1 ve Senaryo 4'ün karşılaştırılması ile, hafif ve ağır araçların düşük hız (50 km/saat) durumlarında, zemin kaplamasının düz asfalttan, gözenekli asfalt kaplamaya değiştirilmesi durumu irdelenmiştir. 75 dBA, 65 dBA ve 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan nüfus sayısında sırasıyla %5,26'lık, %5,88'lik ve %3,74'lük azalma olduğu görülmüştür.

Senaryo 5.1 ve Senaryo 5.2'nin karşılaştırılmasıyla, zemin kaplamasının gözenekli asfalt olması durumunda, hafif araç hızlarındaki %22'lik artış durumu irdelenmiştir. 75 dBA, 65 dBA ve 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan nüfus sayısında herhangi bir değişim görülmemiştir. Zemin kaplamasının düz asfalt olduğu durumda tüm ses seviyesi kategorilerinde maruziyet artışları görülmüşken, zemin kaplamasının gözenekli asfalt olarak değiştirilmesi ile hafif araç hızlarının aynı oranda artışı, nüfus bazında maruziyetleri artırmamıştır.

Senaryo 4 ve Senaryo 5.1'in karşılaştırılmasıyla; zemin kaplamasının gözenekli asfalt olması durumu ile hafif araç hızlarının %80 ve ağır araç hızlarının %40 artışı durumu irdelenmiştir. 75 dBA, 65 dBA ve 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan nüfus sayısında sırasıyla %1,30'luk, %1,12'lik ve %0,67'lik artma olduğu görülmüştür. Zemin kaplamasının düz asfalt olması durumunda benzer hız artışlarının irdelendiği Senaryo 1 ve Senaryo 2'nin karşılaştırılmasında ise her ses seviyesi kategorisinde nüfus maruziyet oranlarının daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durumda, araç hızlarının artması sonucu oluşacak ses emisyonunun azaltılmasında gözenekli asfalt uygulamasının faydalı olacağı anlaşılmaktadır.

Senaryo 4 ve Senaryo 6'nın karşılaştırılmasıyla, zemin kaplamasının gözenekli asfalt olması durumunda ağır taşıtların miktarının 2014 verilerine göre %80 oranında azaltacak alternatif güzergah uygulaması irdelenmiştir. 75 dBA, 65 dBA ve 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan nüfus sayısında sırasıyla %130,30, %38,99 ve %29,33 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

Senaryo 4 ve Senaryo 7'nin karşılaştırılmasıyla; zemin kaplamasının gözenekli asfalt olması durumunda, yol hattı boyunca bariyer uygulamasının etkileri irdelenmiştir. 75 dBA, 65 dBA ve 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan nüfus sayısında sırasıyla %130,30, %54,01 ve %34,95 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

Senaryo 4 ve Senaryo 8'in karşılaştırılmasıyla; zemin kaplamasının gözenekli asfalt olması durumunda, teze konu yol boyunca uygulanan bariyer uygulamasına ek olarak, alternatif güzergah olarak kullanılan yollarda uygulanan bariyerlerin etkisi irdelenmiştir. 75 dBA, 65 dBA ve 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan nüfus sayısında sırasıyla %162,07, %50,34 ve %37,87 oranında azalma olduğu görülmüştür.

Senaryo 3 ve Senaryo 5.2'nin karşılaştırılmasıyla; hafif ve ağır taşıtların yüksek hız durumlarında (sırasıyla 110 km/saat ve 70 km/saat), zemin kaplamasının düz asfalttan gözenekli asfalta dönüştürülmesinin etkileri irdelenmiştir. 75 dBA, 65 dBA ve 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan nüfus sayısında sırasıyla %24,68, %14,99 ve %8,40 oranında bir azalma olduğu görülmüştür.

Trafik hacminin değişmesi, ses seviyesini etkilemektedir. Araç kompozisyonun, hızlarının ve sürüş güzergahı ile yol geometrisinin değişmediği durumda trafik hacminin yarıya indirilmesi ses seviyesinde 3dB'lik bir azalmaya sebep olacaktır buna bağlı olarak araç hacminde meydana gelen değişime göre ses seviyesinde meydana gelen değişim Çizelge 4.7'de gösterilmiştir (Silence Project, 2015).

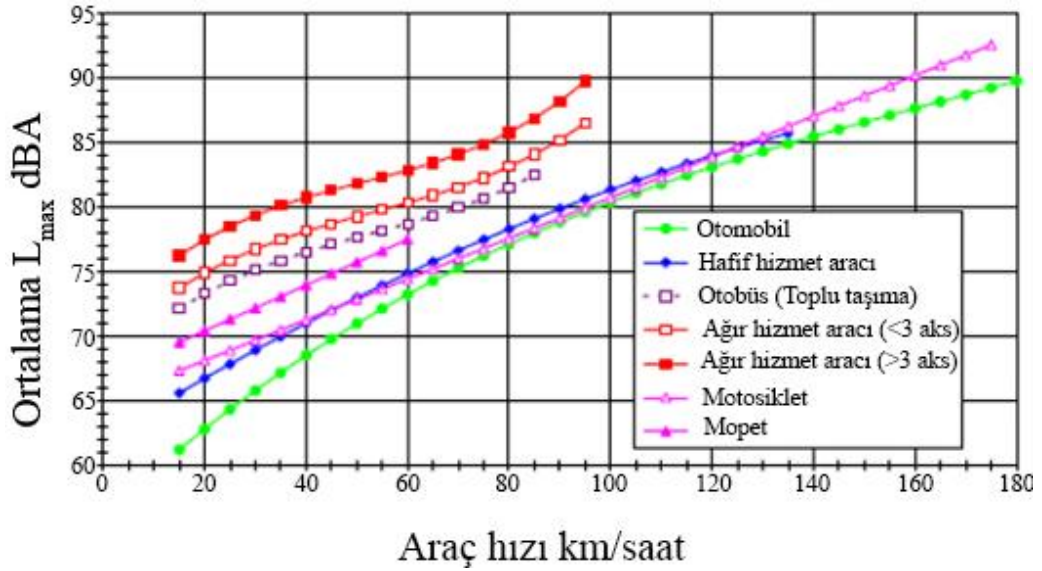
Çizelge 4.7. Trafik hacmindeki değişiminin ses seviyesine etkisi

Trafik Hacmindeki Değişim,	Ses Seviyesindeki Değişim,
%	LA_{eq} dB
10	0,5
20	1,0
30	1,6
40	2,2
50	3,0
75	6,0

Tez çalışmasında, trafik hacminin değişmesinin incelendiği Senaryo 4 ve senaryo 6 karşılaştırılması, Çizelge 4.7'deki veriler ile paralellik göstermektedir. trafik hacminde yapılacak %50 oranındaki bir azaltım ses emisyonunda 3 dBA'lık bir düşüşe sebep olmakta iken trafik hacminde yapılacak %80'lik bir azaltım 75 dBA'dan

büyük ses seviyesine maruz kalan nüfus sayısında %130,30 oranında düşüşe sebep olmaktadır.

Farklı araç tiplerinin hızlarının değişimi, ses seviyelerinde değişime neden olmaktadır. Bu kapsamda, farklı araç tiplerinin hızlarındaki değişimin ortalama L_{max} değerlerine göre değişimleri Şekil 4.44'de gösterilmiştir (EC DG Research, 2008).



Şekil 4.44. Araç tiplerinin hız değişimlerinin L_{max} seviyesi cinsinden değişimi

Şekil 4.44 incelendiğinde çeşitli araç sınıflarında bulunan araçların hızlarının artması ile ses emisyonlarının arttığı görülmektedir. Tez çalışması sonuçlarına göre araç hızlarındaki artışın nüfus bazında gürültü maruziyetlerini arttırdığı görülmüştür. Ancak zemin kaplamasının gözenekli asfalt olarak alındığı senaryolarda gürültü maruziyetleri artışının nispi olarak daha az olduğu görülmüştür.

Ayrıca zemin kaplaması düz asfalt olan yol kesimlerinde yapılan çalışmada üç tip aracın motor ve tekerlek gürültüleri arasındaki ilişkiler tartışılmıştır. Buna göre binek otomobil sınıfında bulunan araçlarda tüm hızlarda tekerlek gürültüsü baskındır. Bunun yanında izin verilen yük taşıma kapasitesi 2 ton olan hafif kamyonlar için motor gürültüsü tüm hızlarda baskın olmaktadır. Yasal olarak izin verilen yük taşıma kapasitesi 12 ton olan ağır kamyon sınıfındaki araçlarda ise 80 km/saat altındaki hızlarda motor gürültüsü baskınken, 100 km/saat üzerindeki hızlarda ise tekerlek gürültüsü baskın hale gelmektedir (Meiarashi vd., 1996).

Bu kapsamda tez sonuçlarından da görüldüğü üzere yüksek hızlı yollarda, nüfus maruziyetlerinin azaltılması amacıyla gözenekli asfalt kullanılmasının uygun olacağı anlaşılmıştır.

Çizelge 4.8'de tez kapsamında oluşturulan senaryolarda meydana gelen nüfus maruziyetleri görülmektedir. Çizelgede ek olarak 55 dBA'dan küçük kategorisi de bulunmaktadır.

Çizelge 4.8. Senaryolar bazında gürültüye maruz kalan nüfusun değerlendirilmesi

Senaryo	>55dBA	>65 dBA	>75dBA	<55dBA
	Nüfus, kişi			
1	138.600	46.800	8.000	13.448
2	143.000	49.500	9.000	5.348
3	145.800	51.400	9.600	48
4	133.600	44.200	7.600	21.448
5.1	134.500	44.700	7.700	19.948
5.2	134.500	44.700	7.700	19.948
6	103.300	31.800	3.300	68.448
7	99.000	28.700	3.300	75.848
8	96.900	29.400	2.900	77.648

Çizelge 4.8'de görüldüğü üzere Senaryo 2'de 75 dBA'dan büyük ses seviyesine maruz kalan 9.000 kişi bulunmaktayken Senaryo 3'de 9.600 kişi bulunmaktadır. İki senaryo arasındaki belirleyici koşul 55 dBA'dan küçük sese maruz kalan nüfus verisinde bulunmaktadır. 04.06.2010 tarih ve 27601 sayılı resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğinin Ek 7 Tablo 1 kısmında karayolu için sınır değerler bulunmaktadır. Söz konusu tablo verileri Çizelge 4.9'de verilmiştir.

Çizelge 4.9. ÇGDYY Ek VII Tablo 1 verileri

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

Ayrıca Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nin Ek VI bölümünde Bakanlığa Gönderilmesi Gereken Veriler başlığı altında karayolları için L_{gag} gürültü göstergesi maruziyet kategorileri belirlenmiştir. Bu kategorilerde 55- 59, 60 – 64, 65 – 69, 70 – 74, > 75 dBA gürültü seviyelerine maruz kalan insan sayıları istenmek olup 55 dBA'dan küçük bir derecelendirme bulunmamaktadır (ÇGDYY, 2010). Bu derecelendirme Çizelge 4.8'de görüleceği üzere farklı alternatiflerin birbirleri ile değerlendirilmesinde oldukça faydalı olmaktadır.

Çizelge 4.9'da görüleceği üzere maruz kalma kategorilerindeki değerlerden daha küçük ses seviyeleri karayolları için sınır değer olarak belirlenmiştir. Yönetmelikte L_{gag} gürültü göstergesi cinsinden bir değerlendirme bulunmamaktadır. Bu kapsamda karar verici makam veya kişilerin kararlarını desteklemek amacı ile 55 dBA'dan az ses seviyesine maruz kalan nüfus sayısının belirlenmesi ve sınır değerlerde L_{gag} gürültü göstergesi cinsinden de sınır değerlerin verilmesi uygun olacaktır.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Trafik kaynaklı gürültünün azaltılması sürecinde karar destek yardımcısı olarak gürültü haritalama yazılımlarının kullanılması ve oluşturulacak farklı senaryoların modelleme yazılımı üzerinde test edilmesi amacıyla hazırlanan bu tez çalışmasından aşağıda sonuçlar elde edilmiştir.

Ülkemizde gürültü modelleri için mevcut veri tabanının yeterli olduğu ancak özellikle coğrafi veriler için bina veri tabanlarına akustik parametrelerin ve nüfus miktarlarının eklenmesinin model çalışmalarında fayda sağlayacağı anlaşılmıştır.

Model yazılımına girilecek verilerin toplanması için mevcut durumda herhangi bir yöntem bulunmamaktadır. Bu çalışmada veri setlerinin oluşturulmasında farklı metotlar geliştirilmiştir. Geliştirilen veri toplama metotları sayesinde gürültü modellerinin kullanabileceği özellikte bilgiler açık ve/veya kapalı kaynaklardan elde edilmiştir. Elde edilen verilerin modelde kullanılmasıyla bulunan sonuçlar arazi ölçümleri ile paralellik göstermiştir.

Ülkemizde karayolu taşıtları sınıflandırılmasında farklı kurumların ihtiyaçları doğrultusunda, birbirlerinden bağımsız araç sınıflandırmaları kullandıkları görülmüştür. Bu durumda araç sınıfları gürültü haritaları ihtiyaçları göz önüne alınarak tekrar tasnif edilmiş ve gürültü model yazılımlarının rahatça kullanabileceği ve karayolu trafik verilerinin toplanmasını kolaylaştıracak sınıflandırma ortaya konulmuştur.

Karar destek yardımcısı olarak gürültü model yazılımlarının kullanılabilmesi, model sonuçlarının oluşturulan farklı senaryolar ile anlamlandırılabilmesi ve karar vermekle görevli makamlarca kolayca anlaşılacak sonuçlar elde edilebileceği süreçler tanımlanmıştır.

Yol kaplamasının düz asfalt olduğu durumda araç hızlarının artması durumunda, gürültüye maruz kalan nüfusun arttığı görülmüştür. Buna mukabil yol kaplamasının gözenekli asfalt ile değiştirilmesi sonucunda özellikle hafif araçların hız artışlarında maruziyetler üzerinde olumlu etki gösterdiği bulunmuştur. Bu durumda gözenekli

asfalt ve ses yutucu asfalt kaplamalarının karayolu trafiği kaynaklı gürültü maruziyetlerinde kullanılabilmesi görülmüştür.

Zemin kaplamasının gözenekli asfalt olması durumunda, hafif araç hızlarındaki %22'lik artış 75 dBA, 65 dBA ve 55 dBA'dan fazla ses seviyesine maruz kalan nüfus sayısında herhangi bir değişime sebep olmazken, zemin kaplamasının düz asfalt olduğu durumda tüm ses seviyesi kategorilerinde maruziyet artışları görülmüştür.

Gürültü maruziyetlerinin ve etkilenen nüfusun fazla olduğu bölgelerde, alternatif güzergah uygulamasının özellikle ağır taşıtlar için uygulanmasının etkilenen nüfusun azaltılmasında faydalı olacağı görülmüştür. Zemin kaplamasının gözenekli asfalt olması durumunda ağır taşıtların miktarını %80 oranında azaltacak alternatif güzergah uygulaması durumunda farklı ses maruziyet kategorileri için %130 ile %29 arasında azalma olduğu tespit edilmiştir.

Zemin kaplamasının gözenekli asfalt olması durumunda, yol hattı boyunca bariyer uygulaması halinde farklı ses maruziyet kategorileri için nüfus bazında %130 ile %34 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği hükümlerinde trafik kaynaklı gürültü için verilen sınır değerlerin $L_{gündüz}$, $L_{akşam}$, L_{gece} gürültü göstergeleri cinsinden açıklandığı ancak tez çalışması sonuçlarına göre L_{gag} gürültü göstergesi cinsinden yapılan incelemenin görece olarak daha doğru olduğu görülmüştür. Gürültü haritalarının değerlendirilmesinde kullanılan maruziyet sınıflandırma kategorilerine 55 dBA'dan küçük maruziyet kategorilerinin de eklenmesinin karar vericiler için faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçların veri toplanması ve analizindeki kullanılan metotlara ile ilgili literatüre katkı sağlayacağı, ayrıca oluşturulan senaryoların karar verici merciler ile bu konuda çalışan akademik ve profesyonel personel için yararlı olacağı kıymetlendirilmektedir.

6 KAYNAKLAR

- Alberti, W.P., 2015. The Anatomy And Physiology Of The Ear And Hearing. Erişim Tarihi: 15.06.2015.
http://www.who.int/occupational_health/publications/noise2.pdf
- Anon., Handbook of acoustic noise control WADC technical report, 52-204. Wright Air Development Center, 1952.
- Aslan, F., 2002. Ağrı Değerlendirme Yöntemleri. Cumhuriyet Üniversitesi Hemşirelik Yüksek Okulu Dergisi, 6, 9-16.
- Bardley, L., D., Stern, R., 2008. Underwater Sound and The Marine Mammal Acoustic Environment, A Guide to Fundamental Principles, 67.
- Babisch W., 2000. Traffic Noise and Cardiovascular Disease: Epidemiological Review and Synthesis. Noise Health 2:9-32.
- Beranek, L.L., (Ed.),1960. Noise Reduction. McGraw-Hill Book Co. Inc, 752, USA
- Berry, B., 1983. LAeq and subjective reaction to different noise sources: Review of research. Proceeding of Internoise. 83,993-996.
- Burgess, M.A., 1977. Noise prediction for Urban Traffic Conditions. Related to Measurement in Sydney Metropolitan Area. Applied Acoustics, 10, 1-7.
- Canelli, G.B., Gluck K., Santoboni S. A., 1983. A Mathematical Model for Evaluation and Prediction of Mean Energy Level of Traffic Noise in Italian Towns. Acustica. 53, 31.
- Cocchi A.,Farina A., Lopes G., 1991. Modelli Matematici per la Previsione del Rumore Stradale: Verifica Ed Affinamento del Modello CNR in Base a Rilievi Sperimentali Nella Città di Bologna, Acta of 19. Convegno Nazionale AIA, 10-12 April, Napoli, 85-90.
- CSTB (Centre Scientifique et Technique du Batiment), 1991. Etude théorique et expérimentale de la propagation acoustique. Revue d'Acoustique, 70.
- Cooper, P.J., Rice, C.G., Diamond, I.D. and Walker, J.G., 1983. Heathrow International Airport study-Technical Report, Institute of Sound and Vibration Research, Southampton University.
- Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY), 04.06.2010 tarih ve 27601 sayılı Resmi Gazete.
- Department of Transport Welsh Office,1988. Calculation of Road Traffic Noise, HMSO,17978, 95.
- Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of Council of June 25 2002 relating to the assessment and management of environmental noise, Official Journal of the European Communities, L189/12-25.

- EIONET, 2013. Corine Land Cover Legend . Erişim Tarihi: 14.05.2015.
http://sia.eionet.europa.eu/CLC2006/CLC_Legeng.pdf
- Emniyet Genel Müdürlüğü, 2013. Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri, 4173, 115.
- Errede, S., 2015. The Human Ear – Hearing, Sound Intensity and Loudness Levels
UIUC Physics 406 Acoustical Physics of Music. Erişim Tarihi: 15.06.2015.
https://courses.physics.illinois.edu/phys406/lecture_notes/p406pom_lecture_notes/p406pom_lect5.pdf
- European Commision Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN), 2006. GoodPractice Guide for Strategic NoiseMapping and theProduction of Associated Data on Noise Exposure. Version 2, 129.
- European Commision, 2015. Vehicles Categories. Erişim Tarihi: 13.11.2014.
http://ec.europa.eu/transport/road_safety/topics/vehicles/vehicle_categories/index_en.htm
- European Commision DG Research, 2008. Noise Reduction in Urban Areas from Traffic and Driver Management-A Toolkit for City Authorities.H.D2, 61.
- European Enviroment Agency, 2015. Corine Land Cover. Erişim Tarihi: 06.02.2015.
<http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>
- European Enviroment Agency, 2015. Corine Land Cover. Erişim Tarihi: 06.02.2015.
http://sia.eionet.europa.eu/CLC2006/CLC_Legeng.pdf
- European enviroment Agency, 2002. Children’s Health and Environment: a Review of Evidence. Erişim Tarihi: 13.03.2015.
http://www.eea.europa.eu/publications/environmental_issue_report_2002_29
- Everest, F.A., Pohlmann, K.C., 2009. Master Handbook of Acustic. McGrawHill, 510, Colorado.
- Fagotti, C., Poggi, A., 1995. Traffic Noise Abatement Strategies. The Analysis of Real Case not Really Effective, 18th International Congress for Noise Abatement, Bologna, Italy, 223-233.
- Fizik Mühendisleri Odası, 2012. B2 tipi Ulaşım Sektörü Gürültü Haritalama Sertifika Programı. Fizik Mühendisleri Odası, 113, Ankara
- Galloway, W.J., 1969. Urban Highway Noise:Measurement, Simulation and Mixed Reactions, NCHRP Report, 78s.
- Gan, W.Q., McLean, K., Brauer, M., Chiarello, S.A., Davies, H.W., 2012. Modeling population exposure to community noise and air pollution in a large metropolitan area. Environmental Research 116, 11-16.
- Google Inc, 2014. 36.9808383° N, 30.690738° E koordinatları Google Earth uydu görüntüsü. Erişim Tarihi: 09.10.2013

- Griffiths, I.D., Langdon, F.J., 1968. Subjective Response to road traffic noise. *Journal of Sound and Vibration*, 8, 16-32.
- Izumi, K., 1986. On the Measurement of Annoyance in the Laboratory, Muroran Institute of Technology, H-86-35 N. 85-10-2.
- Johnson, R., 2015. Time and Phase-Coherent Speaker Design. Erişim Tarihi: 12.03.2015. <http://greenmountainaudio.com/time-and-phase-coherence/time-and-phase-coherence.html>
- Johnson, R.D., Saunders, E.G., 1968. The Evaluation of Noise from Freely Flowing Road Traffic, *Journal of Sound and Vibration*, v.7(2) 287-309.
- Karayolları Genel Mdrlğ, 2009. Devlet Yolları Trafik Akımı zellikleri ve Trafik Parametreleri, 61.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, 2012. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı alışmaları. Erişim Tarihi: 03.02.2013. <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Baskanliklar/BaskanliklarTeknikArastirma/Yeni%20Klas%C3%B6r/Yay%C4%B1mlar/B%C4%B0T%C3%9CML%C3%9C%20KARI%C5%9EIMLAR%20LAB.%20%C3%87ALI%C5%9EMALARI%20.pdf>
- Kurra, S., 2009. evre Gürültüsü ve Yönetimi. Baheşehir Üniversitesi Yayınları, 1284.
- Kurra, S., Dal, L., 2012. Sound Insulation Design by Using Noise Maps. *Building and Environment* 49, 291-303
- Kryter, K.D., 1985. *The Effect of Noise on Man 2nd Editions*. Academic Press, New York, San Francisco, London,
- Lee, Y., E., Jerrett, M., Ross, Z., Coogan, F., P., Seto, Y., W., E., 2014. Assessment of traffic related noise in three cities in United State. *Environmental Research*, 132, 182-189
- Lukasik, S.J., Nolle, A.W., 1955. *Handbook of Acoustic Noise Control*. Wright Air Development Center WADC TR 52-204, 308s.
- Magrab, E.B., Jackson F.J., 1972. *Critical Reviews*. *Environmental Science and Technology* Vol. 3 Issue, pp. 61-83.
- Meiarashi, S., Ishida, M., Nakashiba, F., Niimi, H., Hasabe, M., Nakatsuji, T., 1995. Improvement in the Effect of Drainage Asphalt Road Surface on Noise Reduction. *Applied Acoustics* Vol. 47 No. 3, pp 189-204
- Nelson P. (Ed.), 1987. *Transportation Noise Reference Book*. Butterworths, 550, London.
- Nickson, A.F, 1965. Can Community Reaction to Increased Traffic Noise Be Forecast?, Fifth International Congress on Acoustics, September, Liege, Belgium, F-24

- NMPB-Routes-96, 1996. New French calculation method including meteorological effects. Guide du Bruit, SETRA, France.
- Özgüven, H.N., 2008. Gürültü Kontrolü Endüstriyel ve Çevresel Gürültü. Türk Akustik Derneği Teknik Yayınları, 271, İstanbul.
- RLS, 1990. Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen. BM für Verkehr, Bonn.
- Sarı, D., Ozkurt, N., Hamamcı, S.F., Ece, M., Yalcindag, N., Akdag, A., Akdag, N., 2014. Assessment of noise pollution sourced from entertainment places in Antalya, Turkey. 43rd International Congress on Noise Control Engineering. 16-19 November, Melbourne, Australia, 6s.
- Salomons, E., Van Maercke, D. and De Roo, F., 2011. The Harmonoise Sound Propagation Model, Acta Acustica United with Acustica January/February 97 (1), 62-74.
- Silence Project, 2015. Silence E-Learning For Engineers - Traffic Management. Erişim Tarihi: 14.05.2015. http://www.silence-ip.org/site/fileadmin/SP_J/E-learning/Engineers/Reduction_in_traffic_volume.pdf.
- Tsunokawa, K., Hoban, C. [Ed.], 1997. Roads and The Environment: A Handbook. The International Bank for Reconstruction and Development/THE WORLD BANK, 221, The World Bank Washington, D.C.
- TÜBİTAK MAM, 2015. Antalya Büyükşehir Belediyesi'nin Stratejik Gürültü Haritalarının Hazırlanması Projesi Revize Sonuç Raporu. 5128902 ÇTÜE.13.154, 147.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2014. 2013 Yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Verileri. Erişim Tarihi: 07.03.2014. http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_ID=1059
- World Health Organisation (WHO), 1999. WHO Guidelines for Community Noise. Erişim Tarihi: 04.06.2013 <http://www.bvsde.paho.org/bvsc/i/fulltext/noise/noise.pdf>
- Yılmaz, Demirkale, S., 2007. Çevre ve Yapı Akustiği. Birsen Yayınevi, 511s, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa ECE
Doğum Yeri ve Yılı : Antalya, 1980
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mustafece@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Antalya Karatay Lisesi, 1998
Lisans : S.D.Ü., Çevre Mühendisliği Bölümü, 2002
Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği A.B.D.

Mesleki Deneyim

SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü 2002-2005
Antalya Büyükşehir Belediyesi 2005-halen

Yayınları

- Ece, M., Günay, A., Tosun, İ., 2006, Avrupa Birliği Uyum Sürecinde Antalya'da Katı Atık Bertaraf Yaklaşımı, Katı Atık ve Çevre, Sayı:64, 2-12
- Karadirek İ.E., Kaplan Ş.Ş., Ece M., Köseoğlu H., 2006. Antalya Ve Isparta Bölgelerinde Uygulanan Tıbbi Atık Yönetimi. Katı Atık ve Çevre, ss.22-29
- Ece, M., Tosun, İ., Aksu, T., 2009, Petrol Endüstrisi Ürünlerinin Kıyı Terminallerine İletimi Sırasında Oluşan Atıkların Azaltımı, TÜRKAY Türkiye'de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, 15-17 Haziran, İstanbul.
- Yalçındağ, N.S., Ece, M., 2013. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğinin, Standartlar ve Arazi Uygulamaları Bazında Değerlendirilmesi, Türk Akustik Derneği, 10. Ulusal Akustik Kongresi, Aralık 2013
- Sarı, D., Ozkurt, N., Hamamcı, S. F., Ece, M., Yalçındağ, N., & Akdağ, N. Y., 2014. Assessment of Noise Pollution Sourced from Entertainment Places in Antalya, Turkey. CD-Room. Inter-Noise 2014 Australia-Melbourne.