

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME GÜRÜLTÜ BARIYERLERİ İÇİN
SES YUTUCU PERLİT ESASLI KAPLAMA TASARIMI YAPILARAK
FİZİKSEL PERFORMANSININ VE MALİYETİNİN ARAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ
METEHAN ÇALIŞ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ulaştırma Mühendisliği Programı**

EKİM 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME GÜRÜLTÜ BARIYERLERİ İÇİN SES YUTUCU PERLİT
ESASLI KAPLAMA TASARIMI YAPILARAK FİZİKSEL PERFORMANSININ
VE MALİYETİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

**METEHAN ÇALIŞ
(501072404)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK

EKİM 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501072404 numaralı Doktora Öğrencisi METEHAN ÇALIŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“BETONARME GÜRÜLTÜ BARIYERLERİ İÇİN SES YUTUCU PERLİT ESASLI KAPLAMA TASARIMI YAPILARAK FİZİKSEL PERFORMANSININ VE MALİYETİNİN ARAŞTIRILMASI”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Murat ERGÜN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. M. Erkan KARAGÜLER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Deniz GÜNEY
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **26 Ağustos 2014**
Savunma Tarihi : **22 Ekim 2014**

Eşime ve çocuklarıma...

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda benim danışmanım olmayı kabul eden, çalışmalarım boyunca gerekli her türlü desteği, değerli bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, değerli fikirleri ile yönlendiren Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK'e, tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren, motive edici desteklerini eksik etmeyen değerli hocalarım Doç. Dr. Murat ERGÜN ve Doç. Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER'e, eğitimimin her aşamasında olduğu gibi bu çalışmam süresince göstermiş oldukları destek, hoşgörü ve anlayış ile iki erkek evlat yanı sıra bir de benimle uğraşmak zorunda kalan değerli eşim Hatice ÇALIŞ'a ve Aileme, üzerimde emeği olan herkese sonsuz teşekkür ediyorum.

Eylül 2014

Metehan ÇALIŞ
(İnşaat Yüksek Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	4
1.2.1 Gürültü bariyer teorisi ve bariyerde kullanılan malzemeler.....	4
1.2.1.1 Bariyer etkisi	4
1.2.1.2 Homojen atmosfer şartları altında teorik gürültü bariyeri azaltma değeri.....	7
1.2.1.3 Bariyer konumunun gürültü azaltımına etkisi.....	9
1.2.2 Gürültü bariyerlerinde akustik özellikler	10
1.2.2.1 Gürültü bariyerlerinde ses yansıtma ve yutum özellikleri	10
1.2.2.2 Gürültü bariyerlerine ses yutucu özellik kazandırılması.....	11
1.2.2.3 Ses yutumu ve ses yutum katsayısı ölçüm metotları.....	13
1.2.2.4 Gürültü bariyerlerine ses yutum katsayısı ölçüm standartları.....	17
1.2.2.5 Gürültü bariyerlerine kullanılan bazı ses yutucu malzemeler.....	19
1.2.2.6 Gürültü bariyerlerine ses yutucu malzeme seçim kriterleri	24
1.2.3 Beton gürültü bariyeri	25
1.2.4 Ülkemizde gürültü mevzuatı	29
1.2.5 Gürültü bariyerlerinin diğer ülkelerdeki durumu	32
1.2.6 Perlit	34
1.2.6.1 Fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	35
1.2.6.2 Rezervler ve üretim	36
1.2.6.3 Kullanım alanları.....	38
1.2.7 Ses yutucu bariyerler üzerine yapılan araştırmalar	39
1.3 Hipotez	44
2. PERLİTLİ KAPLAMA MALZEMESİ TASARIMI	45
2.1 Malzeme Tasarımı ve Kaplama Malzemesi Yapılışı	45
2.2 Deney Numunesinin Fiziksel Özellikleri	49
2.3 Deney Numunesi Akustik Özellikleri	52
2.4 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	56
3. BİLGİSAYARLI MODELLEME İLE PERLİT KAPLAMALI BETONARME GÜRÜLTÜ BARIYERİ ÇALIŞMASI.....	59
3.1 Mevcut Bilgisayar Modelleme Yazılımları ve Özellikleri	59
3.2 Avrupa Karayolu Gürültüsü Modeli NMPB-Routes-96	60
3.3 Datakustik CadnaA ile Tasarım	63
3.4 Akustik Modelleme Sonuçları	66

3.4.1 Bariyersiz durum analizi	67
3.4.2 Farklı yüksekliklerde yansıtıcı tip bariyer konulması durum analizi	68
3.4.3 Farklı yüksekliklerde yutucu ($\alpha=0,3$) tip bariyer konulması durum analizi	70
3.4.4 Yansıtıcı bariyer ($\alpha=0,01$) ve yutucu bariyer ($\alpha=0,3$) karşılaştırma analizi	72
3.4.5 Bariyer üst şeklinde yapılacak iyileştirmeler ve akustik performansa katkısı	74
4. EKONOMİK ANALİZ	79
4.1 Gürültü Bariyeri İnşa ve İşletme Maliyeti	79
4.2 Gürültünün Ekonomik Analizi	82
4.2.1 Karayolu kaynaklı gürültüyü değerlendirme teknikleri	86
4.2.2 Gürültü bariyerlerinin fayda maliyet analizi	90
4.3 Yapılan Modellemeye Göre Rahatsızlık Analizi	95
4.4 Yapılan Gürültü Modelleme Sonuçlarına Göre Perlitli Kaplama Uygulamasının Ekonomik Analizi	97
4.4.1 Fayda hesabı	99
4.4.2 Gürültü bariyeri inşa maliyeti	100
4.4.3 Perlitli kaplama inşa maliyeti	102
4.4.4 Bariyer boyama maliyeti	103
4.4.5 Perlit kaplama plakası tıkanıklık temizleme maliyeti	104
4.4.6 Yıllık enflasyon oranının belirlenmesi	106
4.4.7 Faydanın net bugünkü değere çevrilmesi	107
4.4.8 Maliyetlerin net bugünkü değere çevrilmesi	107
4.5 Fayda-Maliyet Analizi	108
4.6 Duyarlılık Analizleri	109
4.6.1 Perlitli kaplama inşası birim fiyatının duyarlılık analizi	109
4.6.2 Kaplama tıkanıklık temizleme maliyetinin duyarlılık analizi	110
4.6.3 Perlitli kaplama temizleme sıklığının duyarlılık analizi	110
4.6.4 Perlitli kaplama alanı değişim yüzdesinin duyarlılık analizi	111
4.6.5 Betonarme gürültü bariyeri inşa maliyet artışı duyarlılık analizi	111
4.6.6 Bariyer genel bakım ve çevresel temizlik sıklığının duyarlılık analizi ..	111
5. SONUÇLAR	115
KAYNAKLAR	119
EKLER	123
ÖZGEÇMİŞ	139

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu)
BA	: Betonarme
BT	: Benefit Transfer (Fayda Transfer)
CBA	: Cost Benefit Analysis (Fayda Maliyet Analizi)
CFC	: Chlorofluorocarbon (Kloroflorokarbon)
COI	: Cost-of-illness (Hastalık Maliyeti)
CVM	: Contingent Valuation Method (Koşullu Değerleme Yöntemi)
DL_a	: Tek Değerli A-Seviye Ağırlıklandırılmış Ses Basınç Seviyeleri Farkı
EN	: European Norm (Avrupa Standardı)
ERF	: Exposure Respond Function (Maruziyet-Tepki Fonksiyonu)
FC	: Future Costs (Gelecek Maliyetleri)
FHWA	: Federal Highway Administration (Amerikan Otoyol İdaresi)
FMA	: Fayda Maliyet Analizi
GIS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
HA	: Highly Annoyed (Yüksek Seviye Rahatsız)
HPM	: Hedonic Pricing Method (Hedonik Ücretleme Yöntemi)
ICC	: Initial Construction Costs (Başlangıç İnşa Maliyeti)
IL	: Insertion Loss (Konumlama Kaybı)
ISO	: International Standardisation Organisation (Uluslararası Standardizasyon Birliği)
İKO	: İç Karlılık Oranı
İO	: İndirgeme Oranı
MPa	: Mega Paskal
NBD	: Net Bugünkü Değer
NRC	: Noise Reduction Coefficient (Gürültü Azaltım Katsayısı)
PW	: Present Value (Bugünkü Değer)
RAC	: Recycled Aggregate Concrete (Geri Dönüşümlü Beton)
RP	: Revealed Preferences (Ortaya Çıkan Tercihler)
TCM	: Transportation Cost Method (Seyahat Maliyet Yöntemi)
TS	: Türk Standardı
WHO	: World Health Organisation (Dünya Sağlık Örgütü)
WTA	: Willingness to Accept (Kabul İstekliliği)
WTP	: Willingness to Pay (Ödeme İstekliliği)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1:	Bazı malzemelerin ses yutum katsayısı değeri (500 Hz).	14
Çizelge 1.2:	TS EN 1793-1'e göre ses yutum performans sınıfları.....	18
Çizelge 1.3:	TS EN 1793-3 Normalleştirilmiş Trafik Gürültü Spektrumu.	19
Çizelge 1.4:	Knauf Markalı cam elyaf plakalarına ait bazı ses yutum katsayı değerleri.	23
Çizelge 1.5:	Ursa markalı taş yünü plakalarına ait bazı ses yutum katsayı değerleri.....	24
Çizelge 1.6:	Durisol markalı çimentolu ahşap lif plakalarına ait bazı ses yutum katsayı değerleri	24
Çizelge 1.7:	Karayolu çevresel gürültü sınır değerleri	31
Çizelge 1.8:	2010 yılına kadar inşa edilmiş gürültü bariyerlerine ait uzunluk-yükseklik değerleri.	34
Çizelge 1.9:	Perlit üretimi (Mt).	36
Çizelge 1.10:	Bergama'daki bir madencilik firmasına ait ham ve patlatılmış perlit özellikleri.....	38
Çizelge 2.1:	Yapılan Isıtma-Soğutma İşlemi Sonrası Kalınlık Değişim Tablosu. ..	49
Çizelge 2.2:	Perlitli sıva tabakasına ait deney sonuçları tablosu.	51
Çizelge 2.3:	Tek tabakalı perlitli kaplama tabakasına ait deney sonuçları tablosu.	51
Çizelge 2.4:	İki tabakalı perlitli kaplama tabakasına ait deney sonuçları tablosu... ..	51
Çizelge 2.5:	1. Grup perlitli kaplama tabakasına ait kalınlık ölçüm tablosu.	53
Çizelge 2.6:	İlk ölçüm grubu frekans-ses yutum katsayısı ölçüm tablosu.	54
Çizelge 2.7:	2. Grup perlitli kaplama tabakasına ait kalınlık ölçüm tablosu.	55
Çizelge 2.8:	İkinci ölçüm grubu frekans-ses yutum katsayısı ölçüm tablosu.	56
Çizelge 2.9:	Fiziksel deneylerin ölçüm sonuçları karşılaştırma tablosu.....	57
Çizelge 2.10:	Akustik deneylerin ölçüm sonuçları karşılaştırma tablosu.....	58
Çizelge 3.1:	Ağırlıklandırılmış spektrum için R(i) değerleri dB(A).	61
Çizelge 3.2:	Hıza bağlı yol yüzey düzeltmesi (Ψ) değeri tablosu.	62
Çizelge 3.3:	$\Psi=3,5$ dB(A) için poroz asfalt kaplama R(i) değeri tablosu.	63
Çizelge 3.4:	Bina özellikleri ve binalardaki nüfus dağılımı tablosu.....	64
Çizelge 3.5:	Trafik özellikleri tablosu	65
Çizelge 3.6:	Gürültü bariyeri özellikleri	65
Çizelge 3.7:	Bariyersiz durumda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.....	67
Çizelge 3.8:	Bariyersiz durumda mevzuatta verilen limit değerler üzerinde trafik gürültüsüne maruz kalan toplam kişi sayısı ve yüzdesi	68
Çizelge 3.9:	3 mt yansıtıcı bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.....	69
Çizelge 3.10:	5 mt yansıtıcı bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.....	69
Çizelge 3.11:	7 mt yansıtıcı bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.....	69

Çizelge 3.12: Farklı yüksekliklerdeki yansıtıcı bariyer konumlanması durumunda mevzuatta verilen limit değerler üzerinde trafik gürültüsüne maruz kalan toplam kişi sayısı ve yüzdesi	70
Çizelge 3.13: 3 mt yutucu ($\alpha=0,3$) bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.	71
Çizelge 3.14: 5 mt yutucu ($\alpha=0,3$) bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.	71
Çizelge 3.15: 7 mt yutucu ($\alpha=0,3$) bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.	71
Çizelge 3.16: Farklı yüksekliklerdeki yutucu ($\alpha=0,3$) bariyer konumlanması durumunda mevzuatta verilen limit değerler üzerinde trafik gürültüsüne maruz kalan toplam kişi sayısı ve yüzdesi.	72
Çizelge 3.17: Farklı yüksekliklerdeki yansıtıcı bariyer konumlanması durumda mevzuatta verilen limit değerler üzerinde trafik gürültüsüne maruz kalan toplam kişi sayısı ve yüzdesi	73
Çizelge 3.18: Yutucu ($\alpha=0,3$) ve yansıtıcı ($\alpha=0,01$) gürültü bariyer durumları arasındaki limit değerler üzerinde trafik gürültüsüne maruz kalan toplam kişi yüzdeleri farkı.....	73
Çizelge 3.19: Ankastra tip başlığa sahip 7 mt yutucu ($\alpha=0,3$) bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.	75
Çizelge 3.20: T-tipi başlığa sahip 7 mt yutucu ($\alpha=0,3$) bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.....	75
Çizelge 3.21: Silindirik tip başlığa sahip 7 mt yutucu ($\alpha=0,3$) bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.	76
Çizelge 3.22: Farklı başlık tipine sahip 7m yüksekliğindeki bariyerlerin konumlanması durumda mevzuatta verilen limit değerler üzerinde trafik gürültüsüne maruz kalan toplam kişi yüzdesi.....	76
Çizelge 4.1: Gürültü bariyeri malzeme tipine göre inşa maliyeti	80
Çizelge 4.2: Gürültü bariyeri malzeme tipine göre işletme maliyeti	81
Çizelge 4.3: Miedema ve diğ. çalışmasının L_{gag} gürültü aralıklarına uyarlanması..	95
Çizelge 4.4: Rahatsızlık analiz sonucu rahatsız ve aşırı rahatsız kişi sayıları tablosu	96
Çizelge 4.5: Rahatsızlık analiz sonuçları ile limit gürültü değerleri üzerinde etkilenen kişi sayısı karşılaştırma tablosu.	96
Çizelge 4.6: İnşa ve işletme maliyetleri genel karşılaştırma ve işlem sıklığı tablosu.	98
Çizelge 4.7: Rahatsızlık analiz sonuçları ile limit gürültü değerleri üzerinde etkilenen kişi sayısı farkı tablosu.	99
Çizelge 4.8: Karayolu gürültüsü için önerilen ekonomik değer tablosu.....	100
Çizelge 4.9: GYİH 2013 değerlerive oran tablosu.	100
Çizelge 4.10: Malzeme ortalama birim maliyet tablosu.	101
Çizelge 4.11: 33x33 cm ebatlı granit seramik birim fiyat değişim tablosu	102
Çizelge 4.12: Silikon esaslı dış cephe boyası (su bazlı) yapılması işine ait birim fiyat değişim tablosu.	103
Çizelge 4.13: Yol süpürme makinası işletme birim fiyat tablosu.	105
Çizelge 4.14: Türkiye için tahmini uzun dönem enflasyon değerleri.....	107

Çizelge 4.15: Perlitli kaplama ile elde edilen gürültü azaltımının indirgenmiş fayda değeri tablosu	107
Çizelge 4.16: İndirgenmiş maliyet değerleri tablosu.....	108
Çizelge 4.17: Perlitli kaplama malzemesi için elde edilen F/M ve İKO oranı tablosu.	109
Çizelge 4.18: Perlitli kaplama malzemesi için elde edilen NBD tablosu.	109
Çizelge 4.19: Perlitli kaplama malzemesi inşasındaki artışa karşılık bariyersiz ve yansıtıcı bariyerli durumlarda elde edilen F/M oranı tablosu.	110
Çizelge 4.20: Perlitli kaplama malzemesi tıkanıklık temizleme maliyetindeki artışa karşılık bariyersiz ve yansıtıcı bariyerli durumlarda elde edilen F/M oranı tablosu.	110
Çizelge 4.21: Perlitli kaplama malzemesi tıkanıklık temizleme sıklığının artmasına karşılık temizleme maliyetindeki artışın bariyersiz ve yansıtıcı bariyerli durumlarda elde edilen F/M oranı tablosu.	110
Çizelge 4.22: Perlitli kaplama alanında değişim yüzdesinin bariyersiz ve yansıtıcı bariyerli durumlarda elde edilen F/M oranı tablosu.....	111
Çizelge 4.23: Betonarme gürültü bariyeri inşa maliyetindeki % artışına karşılık F/M oranı değişimi tablosu	111
Çizelge 4.24: Perlitli kaplama malzemesi tıkanıklık temizleme sıklığının artmasına karşılık temizleme maliyetindeki artışın bariyersiz ve yansıtıcı bariyerli durumlarda elde edilen F/M oranı tablosu.	112

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Enkesit dalgaboyu ilişkisi.....	4
Şekil 1.2: Tek kırınım boyutları.....	6
Şekil 1.3: Çift kırınım boyutları.	6
Şekil 1.4: Ses ışını yol farkının gösterilmesi.	7
Şekil 1.5: Mesafe farkı & potansiyel bariyer düzeltmesi.	8
Şekil 1.6: Alıcı kaynak arası bariyer konumlamasının akustik performansa etkisi.	10
Şekil 1.7: Yüksek araç etkisi.	11
Şekil 1.8: Yüksek araç, yansıtıcı bariyer etkisi grafiği	11
Şekil 1.9: Yansımalar ile oluşan hayali gürültü kaynakları.	12
Şekil 1.10: İTÜ Makine Fakültesi P.A. Hilton markalı empedans tüpü.	16
Şekil 1.11: Aktarım fonksiyonu metodu ile ses yutum katsayısı ölçüm düzeneği. ...	16
Şekil 1.12: TUBİTAK UME çınlanım odası.	17
Şekil 1.13: Eğik konumlu gürültü bariyeri örneği – Danimarka	19
Şekil 1.14: Şeffaf bariyer ve bitkilendirme örneği - Danimarka	20
Şekil 1.15: Poroz Yapılı Ses Yutucu Malzemelerin Ses Yutuculuk Katsayısı.....	21
Şekil 1.16: Ön yüzü delikli metal gürültü bariyeri örneği- Danimarka.	21
Şekil 1.17: Çelik çerçeve içine taş yünü ve ön yüzü hasır donatı kaplı gürültü bariyer örneği – Danimarka.	22
Şekil 1.18: Helmholtz Ses Yutucu Malzemelerin Ses Yutuculuk Katsayısı.	22
Şekil 1.19: Durisol markalı çimentolu ahşap lif malzemeden imal edilen duvar detayı.	24
Şekil 1.20: Görsel olarak istenmeyen, tekdüze beton gürültü perdesi.....	28
Şekil 1.21: Ahşap lifli (solda) ve tanecikli (sağda) malzemeden imal edilmiş, değişik formlardaki beton gürültü perdeleri.....	29
Şekil 1.22: Sundurma tipi gürültü bariyeri Dordrecht, Hollanda.	32
Şekil 1.23: Perlitin fiziksel üç hali.....	35
Şekil 1.24: Genleştirilmiş perlit üretimi akış şeması.	37
Şekil 1.25: Silika aerogelin frekansa göre ses yutum katsayısı performansı grafiği. .	40
Şekil 1.26: Geri dönüşümlü betonun çınlanım odası metoduna göre ses yutum katsayısı performansı grafiği.	42
Şekil 2.1: Nutec Fibratex markalı seramik kağıttan kalıp oluşturulması.....	46
Şekil 2.2: Tabakalı perlit oluşturulması.	47
Şekil 2.3: Perlitin kül fırınına yerleştirilmesi.	47
Şekil 2.4: Kalıbın kül fırınından çıkarılışı ve soğutulması.	48
Şekil 2.5: Yüksek sıcaklık ve soğuma sonrası büzülme.	48
Şekil 2.6: Deney numunesi kalınlık ölçümü.	49
Şekil 2.7: Bazı deney ve numunelere ait fotoğraflar.	50
Şekil 2.8: İlk deney numunesi örneği.	52
Şekil 2.9: İlk deney grubuna ait ses yutum katsayısı - frekans eğrisi.....	53
Şekil 2.10: İki tabakalı deney numunesi örneği.....	55
Şekil 2.11: İkinci deney grubuna ait ses yutum katsayısı - frekans eğrisi.	55
Şekil 2.12: Ölçüm sonuçları karşılaştırma grafiği.	58

Şekil 3.1: NMPB için yaklaşık E değeri diagramı.....	61
Şekil 3.2: Bina, yol bariyer konumlaması.....	64
Şekil 3.3: RQ10 tipi yol kesit detayları.....	65
Şekil 3.4: Gürültü seviye aralıklarına düşen kişi sayılarının hesaplanması için kullanılan izometrik görünüm örneği.....	67
Şekil 3.5: Bariyersiz durum zaman aralıklarına bağlı etkilenen nüfus yüzdesi.....	68
Şekil 3.6: Farklı yüksekliklerdeki yansıtıcı bariyer çalışmasının ölçüm zaman aralıklarına bağlı etkilenen nüfus yüzdesi.....	70
Şekil 3.7: Farklı yüksekliklerdeki yutucu ($\alpha=0,3$) bariyer çalışmasının ölçüm zaman aralıklarına bağlı etkilenen nüfus yüzdesi.....	72
Şekil 3.8: Farklı yüksekliklerdeki yutucu ($\alpha=0,3$) ve yansıtıcı bariyer konumlamasının farklı ölçüm zaman aralıklarına bağlı etkilenen nüfus yüzdesi.....	73
Şekil 3.9: Modellemede kullanılan başlık tipleri.....	74
Şekil 3.10: Başlık tipine göre etkilenen yüzde kişi sayısı farkı grafiği.....	77
Şekil 4.1: Ticari ve ticari olmayan değerlerin birlikte değerlendirilmesi.....	82
Şekil 4.2: Avrupa'da proje onay kılavuzlarının gürültü kapsama durumu.....	83
Şekil 4.3: Ulaşım Gürültüsü Değerlemesinin Kavramsal Tasarımı.....	86
Şekil 4.4: Trafik gürültüsü sebebi ile rahatsızlık % kişi oranı ve gürültü seviyesi ilişkisi.....	94
Şekil 4.5: 33x33 cm ebatlı granit seramik birim fiyat değişim grafiği.....	103
Şekil 4.6: Silikon esaslı dış cephe boyası birim fiyat değişim grafiği.....	104
Şekil A.1 : Gürültü haritaları: bariyersiz durum (a) $L_{gündüz}$, (b) $L_{akşam}$, (c) L_{gag} , (d) L_{egant}	124
Şekil A.2 : Gürültü haritaları: 3m yansıtıcı tip BA gürültü bariyeri durumu (a) $L_{gündüz}$, (b) $L_{akşam}$, (c) L_{gag} , (d) L_{egant}	125
Şekil A.3 : Gürültü haritaları: 5m yansıtıcı tip BA gürültü bariyeri durumu (a) $L_{gündüz}$, (b) $L_{akşam}$, (c) L_{gag} , (d) L_{egant}	126
Şekil A.4 : Gürültü haritaları: 7m yansıtıcı tip BA gürültü bariyeri durumu (a) $L_{gündüz}$, (b) $L_{akşam}$, (c) L_{gag} , (d) L_{egant}	127
Şekil A.5 : Gürültü haritaları: 3m yutucu tip ($\alpha=0,3$) BA gürültü bariyeri durumu (a) $L_{gündüz}$, (b) $L_{akşam}$, (c) L_{gag} , (d) L_{egant}	128
Şekil A.6 : Gürültü haritaları: 5m yutucu tip ($\alpha=0,3$) BA gürültü bariyeri durumu (a) $L_{gündüz}$, (b) $L_{akşam}$, (c) L_{gag} , (d) L_{egant}	129
Şekil A.7 : Gürültü haritaları: 7m yutucu tip ($\alpha=0,3$) BA gürültü bariyeri durumu (a) $L_{gündüz}$, (b) $L_{akşam}$, (c) L_{gag} , (d) L_{egant}	130
Şekil A.8 : Gürültü haritaları: 7m yutucu tip ($\alpha=0,3$) BA gürültü bariyeri durumu (a) $L_{gündüz}$, (b) $L_{akşam}$, (c) L_{gag} , (d) L_{egant}	131
Şekil A.9 : Gürültü haritaları: Yola bakan eğik tip başlıklı 7m yutucu tip ($\alpha=0,3$) BA gürültü bariyeri durumu (a) $L_{gündüz}$, (b) $L_{akşam}$, (c) L_{gag} , (d) L_{egant}	132
Şekil A.10 : Gürültü haritaları: T tipi başlıklı 7m yutucu tip ($\alpha=0,3$) BA gürültü bariyeri durumu (a) $L_{gündüz}$, (b) $L_{akşam}$, (c) L_{gag} , (d) L_{egant}	133

BETON GÜRÜLTÜ BARIYERLERİ İÇİN SES YUTUCU PERLİT ESASLI KAPLAMA TASARIMI YAPILARAK FİZİKSEL PERFORMANSININ VE MALİYETİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu tez çalışmasında; karayolu trafiği kaynaklı çevresel gürültü ile mücadele yöntemlerinden biri olan gürültü bariyerlerinde ses yutuculuğun artırılması amacı ile özellikle beton bariyerler üzerinde uygulanabilecek olan perlit esaslı bir kaplamanın tasarlanması, fiziksel ve akustik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi ve maliyetleri açısından değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Önerilen kaplama, Türkiye’de önemli miktarda rezervi bulunan perlitin sanayide yaygın kullanım şekli olan patlatılmış formunun 1200°C gibi yüksek bir sıcaklıkta belirli bir süre ile bekletilerek camsılaştırılması ile elde edilmektedir. Bu ısıtma işlemi sırasında patlatılmış perlit parçacıkları aralarında boşluklar kalacak şekilde birbirine kenetlenmekte ve büzülerek hacim kaybetmekte, soğutulduktan sonra ile gözenekli narin bir yapı oluşmaktadır. Patlatılmış perlitin bu işlemler sonrasındaki gözenekli yapısı, akustik ses yutuculuğa sahip birçok ürün ile benzer bir yapıda olduğundan, bu kaplamanın ses yutucu malzeme olarak ulaşım gürültüsü ile mücadelede kullanılabileceği düşünülmüştür. Boşluk yapısı ve narinliği sebebi ile bu halde doğrudan bariyer levhası uygulamaya elverişli olmayacağından, perlitli kaplama ek olarak sert bir destek yapısı gerekmektedir. Bunun için mevcut betonarme bariyerlere uygulanması bir yapıştırıcı vasıtası ile olmaktadır. Çalışmada kaplama ile yapısal uyumluluk açısından perlit esaslı sıva harcı kullanılmıştır.

Akustik ses yutum performansı açısından değerlendirildiğinde perlitli kaplama, EN 1793-1 standardına göre, piyasada yaygın olarak kullanılan birçok gürültü bariyeri gibi A2 (DL_a 4,95 dB) sınıfında yer almaktadır. Genel olarak kullanılan ses yutum katsayısı değeri ise yaklaşık NRC 0,3 olarak belirlenmiştir. Alternatif gürültü bariyer malzemelerinin yutuculukları incelenerek, kaplama için elde edilen akustik ses yutum değeri ile karşılaştırılmıştır.

Perlitli kaplamanın sağlayacağı gürültü azaltım değerini belirleyebilmek için Dataakustik firmasına ait ve Avrupa Birliği Komisyonu tarafından sonuçları Birlik Ülkelerinde geçerli kabul edilen CadnaA adlı gürültü haritalama yazılımı vasıtasıyla örnek bir alanda modelleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu modellemelerden elde edilen sonuçlara göre, mevzuatta verilen limitler üzerinde gürültüye maruz kalan kişi sayıları arasında mevcut bir bariyer üzerine perlit kaplama uygulanması durumunda %10 civarında bir azalma meydana gelmektedir. Bunu toplam aşırı rahatsız ve rahatsız kişi sayısı olarak ele aldığımızda gürültüden rahatsız olunan gürültü seviyelerinin, mevzuat gürültü limitlerinden farklı olmasından dolayı %5 civarında bir fark görülmektedir.

Tezin devamında elde edilen gürültü seviyesindeki azalma ve gürültüden etkilenen kişi sayısındaki azalma miktarı ekonomik bir fayda olarak ele alınıp, bariyerin inşaa maliyeti ve işletme maliyetleri ile karşılaştırılarak perlitli kaplamanın, belli kabuller altında, 50 yıllık yapı ömrü ile inşa edilmesinin ekonomik olup olmayacağı

araştırılmıştır. Ayrıca Duyarlılık Analizi yapılarak kabul değişkenlerinin elde edilen sonuçlara ne kadar etkisi olduğu incelenmiştir.

Yapılan çalışmada elde edilen fiziksel, akustik ve ekonomik analiz değerlendirme sonuçları; laboratuvar ortamında geliştirilen perlit esaslı kaplamanın trafik gürültüsü ile mücadelede kullanılmasının mümkün olduğunu göstermektedir. Ancak perlitli kaplama üretiminin, kullanım alanlarının yaygınlaştırılması ve yangına dayanım davranışı gibi konularda daha fazla geliştirme ve araştırmaya ihtiyaç vardır.

DESIGN OF PERLITE BASED SOUND ABSORBING COVERING FOR CONCRETE NOISE BARRIERS AND DETERMINATION OF ITS PHYSICAL PERFORMANCE AND COST

SUMMARY

In this study, perlite based covering which can be used to increase sound absorption capability of noise barriers, especially for concrete noise barriers, which is one of the debating methods for environmental noise caused by highway traffic is examined in terms of design, experimental determination of physical and acoustic performance and costs.

The covering is mainly made of expanded perlite and Turkey reserves considerable amount of perlite as a natural source. Turkey is ranked in five countries in the world as reserve and production capability of perlite. Perlite has widely used for several purposes in different industries. Nowadays, especially in construction sector, light weight thermal insulation mortar made of expanded perlite is used for thermal insulation for the building.

Suggested covering is obtained by conditioning expanded perlite in a heated furnace for 5 minutes approximately at 1200°C which is very close to melting point of perlite. In the heating process, expanded perlite particles adhere to each other with gaps between. Expanded perlite sample in the ceramic paper mould which is covered with magnesium oxide to prevent perlite stick to mould starts to shrink by losing volume. Volume loss ration is about %50 between the expanded form in the mould and glassified form after cooling.

After cooling down the perlite sample, it becomes a porous fragile structure in the form. After this process, due to the expanded perlite's porous structure which is very similar with any other sound absorbing material, this covering is thought to be used as a sound absorbing material in debating traffic noise. The porosity of the sample mainly depends on the expanded perlite particle size range used in the design. Additionally, the number of layers which is made of different particle size of expanded perlite causes different porosity ratios in the perlite covering. Layering and use of different size of expanded perlite particles improves absorption capability of different frequency ranges for the perlite based covering.

For any kind of sound insulation material, the gaps between front and back side are not allowed not to permit sound to propagate from one side to another. It is not convenient to use directly in this fragile and porous form perlite based covering, so it is required a stiff backing board for physical strength. For this reason, use of this covering is on concrete noise barriers is by means of an adhesive. In this study, perlite based render is selected as adhesive to be structurally in compliance with covering.

When evaluated in terms of acoustically sound absorption performance, the perlite based covering, according to EN 1793-1 (Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Intrinsic characteristics of sound absorption), is classified as A2 (DL_{α} 4,95 dB). This sound absorption class noise barriers have very common and widely use in the market. According to test results,

commonly used sound absorption coefficient, NRC - Noise Reduction Coefficient, is determined as approximately 0,3 NRC. In this study, it was also examined sound absorbing capability of alternative noise barrier materials and compared with perlite based covering.

To see the noise reduction effect of perlite based covering due to sound absorption capacity, a noise map modelling was conducted on a sample area with a software named CadnaA, a product of Datakustik company, whose results are considered valid in all EU countries by the decision of EU Commisison.

In the modelling stage, certain assumptions and certain variables were taken into account only to see the acoustical performance of perlite based covering. Especially noise barrier location, weather conditions, road slope, traffic volume and heavy vehicle ratio are the basic assumptions fixed. The variables to evaluate performance of perlite based covering in the computer based noise modelling stage are noise barrier height, heading type of the noise barrier, with and without barrier cases and with and without perlite based covering cases.

Evaluating the results of noise map modelling, when the perlite based covering is applied on an existing noise barrier, approximately %10 decrease occurs in number of people exposed over noise limits given in the regulation comparing without covering noise barrier case. It becomes %5 when the total number of highly annoyed and annoyed people considered due to difference between noise regulation limits and annoyig and/or highly annoying limits.

In the following stages of the thesis, taking reduction in the noise level and reduction in the number of people affected by traffic noise as an economical benefit and comparing with noise barrier construction and operation costs, application of the the perlite based covering was evaluated, under certain assumptions, economically feasible or not for the 50 years assumed as a life span of the concrete noise barrier.

For the calculation of noise barriers contructional and operational costs, the unit costs were taken from Ministry of Environment and Urbanisation. The difficulty in calculation of benefits gained by reduction in noise levels was due that there were no survey or given money equivalent value for Turkey in one dB(A) decrease in traffic noise emissions. Additionally, noise related regulations in Turkey only giving environmental noise limit values. The concern in the number of annoyed and highly annoyed people is that munber of people exposed over the limits given in regulations are not representative for number of annoyed and highly annoyed people. The difference between these two values effect calculation of benefit gained from reduction in noise levels. Money equivalent noise reduction values were taken from EU 6th frame programme HEATCO (Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment) project results and applied actualisation in the money values to get present value and used direct benefit transfer method (with gross domestic product –GDP ratio conversion) to transfer EU values to Turkey.

In all calculations, payments of related noise barrier operation costs and monetarized benefits are multiplied by in the rate of inflation which has a changing value over the 50 years. In many sources estimation inflation rates for Turkey, are decreasing from %6 to %2 between the years 2015 and 2050. Due to the nature of Cost Benefit Analysis, a discount rate %2,5 selected. It is a very low rate for any kind of project but advised to be chosen in low rates in any other environmental projects with no direct or very small amount of money return. All costs and benefit values are converted into present value (PV) and Net Present Value (NPV), Cost-Benefit Ratio and internal rate

of return (IRR) are calculated. Under the assumptions taken in noise modelling stage, all results are positive and showing that using perlite based covering for debating with traffic noise is acceptable.

Using a perlite based covering on a noise barrier causes a rise about %11 in the initial cost of noise barrier construction. In additon, perlite based covering application causes a rise about %40 in the operation costs due to clogging cleaning operations for pores in the covering and fragility resulting in need for change of perlite based covering annuaily in some parts of noise barrier. Even the rise in all costs, the benefit rise is about %34 when 7m height concrete barrier is covered with sound absorbing perlite based covering. Additionally, to see the effect of assumptions on feasibility analysis, sensivity analysis was conduted. Highest sensivity is observed for clog cleaning frequency of perlite based covering. All other assumption are insensitive or less sensitive for up to %20 changes in costs.

Evaluating all physical, acoustical and economical analysis results conducted in this study shows that the perlite based covering developed in the laboratory can be used as a solution for debating with traffic noise. However, perlite based covering is a new product so needs to be investigated for any other features and production technologies. It will help to generalise the usage area in several industries. In further studies and R&D projects, it is aimed to see fire resistance behaviour for tunnel fires with hidrocarbon heating curves, acoustical sound absorption coefficient determined by room method and any other physical tests required in EN 14388, noise barrier product standart, in TSE's fire and acoustics departments of Tuzla Insulation Laboratory.

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi kadar eski olan yollar ulaşımın ana öğelerindendir. Ulaşım rotası veya ulaşım ağı da diyebileceğimiz yapı yaşam alanlarını birbirine bir örümcek ağı gibi bağlar ve bu sistem doğal çevre ve kendi çevresi ile bütünleşik bir yapı oluşturur. Diğer bir ifade ile, ulaşım ağı geçtiği çevresi ile birlikte gelişir. Ulaşım, yerleşim ve coğrafyanın bu kadar iç içe kurulduğu sosyal ve fiziki yapılarda bu öğelerin de birbiri ile olumlu veya olumsuz bir ilişki içinde olması kaçınılmazdır. Teknolojinin de yardımıyla insanoğlu, her geçen gün daha hızlı, daha güvenli, daha konforlu bir ulaşımın izini sürmektedir. Bunu yakalayabildiği ölçüde başarılı olan insanlık, elde ettiği kazanımları yanı sıra bir takım olumsuz sonuçlara da katlanmak durumundadır. Daha iyiyi ararken, zararsız veya daha az zararlı olanı düşünmek durumunda olan insanlık, gelecek nesillere aktarılan kaynaklar için de sürdürülebilir bir ulaşım modelini benimsemek durumundadır. Daha az hava kirletici emisyon yayan yeşil araçlara olan talep, yenilenebilir enerjilerin ulaşım türlerinde daha yaygın kullanılmaya çalışılması, daha fazla çevresel öneme sahip çıkan ulaşım projelerinin insanlar tarafından kabul görmesi gibi durumlar bu yaklaşım modelini doğrular niteliktedir.

Hükümetler halklarına daha iyi ulaşım şartlarını sağlarlarken, bunun tam tersi durumda olan ve o çevrede yaşayıp, o ulaşım imkânlarını kullananlar nedeniyle bozulan fiziksel şartlardan mağdur olanların da haklarını korumak durumundadırlar. Ulaşım kaynaklı gürültünün bu yeşil yaklaşım içerisinde değerlendirilmesinin bir yansıması olarak, hükümetlerce oluşturulan mevzuat çerçevesinde fiziksel çevre şartlarını koruyacak çeşitli sınırlamalar getirilmiştir.

Bu çabalar sadece 20. yüzyıl insanı için değil, çok daha önceleri yaşamış toplumlar için de geçerlidir. Roma İmparatorluğu zamanında Julius Caesar dönemine kadar Roma Şehrinde at arabalarının taş yollarda çıkardığı gürültü sebebiyle yük taşımacılığının gece yapılmasının kanunla yasaklandığı bilinmektedir (Kotzen & English, 2009).

Günümüzde, bir yandan üreticiler daha sessiz araçlar üretmenin yarışı içinde iken, ki elektrikli araçlarda hiç motor gürültüsü oluşmaması sebebiyle, özellikle şehir içindeki yayaların güvenliği için taşıtın yaklaştığını taşıtın motor sesi ile fark edebilmesini sağlamak amacı ile bu araçlara yapay motor sesi eklenmektedir, diğer yandan yerel yönetimler de yaşam alanları çevresinde daha az gürültü oluşumu ve oluşan gürültünün rahatsızlık verecek şekilde yayılması önlenmek amacı ile sessiz yollar, gürültü bariyerleri, ağaçlandırılmış alanlar gibi önlemleri uygulamaktadır.

Kaynak ile alıcı arasında fiziksel bir engel oluşturma yolu ile alıcı ortamda gürültünün azaltılmasını sağlayan gürültü bariyerlerinin doğuşu da fiziksel çevre şartları bozulan insanların haklarının korunması esasına dayalı olarak ortaya çıkmaktadır. Bilinen ilk gürültü bariyeri 1963 yılında Amerika’da Washington Eyaletinde inşa edilmiştir. Bu gürültü bariyeri aslında yol inşaatı sırasında oluşan gürültünün çevre sakinlerine olan etkisini azaltmak amacı ile kullanılmıştı, ancak halkın talepleri doğrultusunda sadece trafik kaynaklı gürültü kontrolü amaçlı kullanılmaya başlanmıştır.

İnsanların hareketlilik miktarının giderek artması, her geçen yıl artan taşıt sayısı ve yükselen yaşam standartları ile birlikte daha fazla trafik gürültüsü oluşmaktadır. Özellikle trafik gürültüsüne maruz kalan otoyollara komşu çevre sakinleri oluşan trafik gürültüsü sebebiyle uykusuzluk veya uyku kalitesinin düşmesi, iletişim kalitesinin ve anlaşılabilirliğin azalması, ruhsal rahatsızlık hali gibi sebeplere dayalı olarak ortaya çıkan kalp hastalıkları ve yüksek tansiyon gibi fiziksel veya stres gibi ruhsal hastalıklara yakalanmaktadırlar. Mevzuatta yer almasına rağmen, gürültü önlemleri yeterince uygulanmamaktadır. Bu rahatsızlıkları çeken çevre sakinlerinin politikacılara ve yerel yönetimlere baskıda bulunmaları sonucu genellikle, gürültü azaltma metotlarından en yaygını olanlarından biri olan, gürültü bariyerleri uygulanmaktadır. Ülkemizde yeni yeni gündeme gelmeye başlayan bu önlem türü, Avrupa ve Amerika’daki birçok ülkede yaşam alanları için standart bir çözüm olarak yer almaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, ‘Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği’ (2010) gereği yaşam alanlarında sağlanması gereken gürültü değerlerinin aşılmaması için, trafik kaynaklı gürültünün azaltılmasında kullanılan genellikle gürültü yansıtıcı özellikteki betonarme gürültü bariyerlerinin tasarlanan perlit esaslı bir kaplama ile kaplanması sonucu elde edilen gürültü azaltma değeri, bu kaplamanın inşa ve işletme maliyetlerinin gürültü azaltma değeri için ekonomik analizi çok yönlü olarak araştırılmıştır. Çalışmanın pratikte yer alan malzeme geliştirme kısmı, deneysel çalışmalarla geliştirilerek Avrupa Standartlarına uygun şekilde laboratuvar ortamında yapılan deneyler ile desteklenmiştir. Çalışmaya ait teorik ve hesaplama kısmında ise;

- ✓ Perlit esaslı kaplama uygulanmış ve uygulanmamış bariyerlerde, gürültü haritalama yazılımı yardımı ile belirli trafik ve çevre koşulları altında gürültü azaltma performans değerleri,
- ✓ Gürültü azaltma performansındaki artışa karşılık gelen inşa ve işletme maliyetleri ile Fayda/Maliyet oranlarının hesaplanması,
- ✓ İnşa ve İşletme maliyetlerdeki değişimlerin Fayda / Maliyet üzerindeki etkileri

hakkında elde edilen değerler tablolar ile birlikte karşılaştırmalı olarak ortaya konmuştur.

Bu çalışmanın karar vericiler açısından akustik anlamda yansıtıcı veya yutucu bir bariyer seçilmesi noktasında ve betonarme gürültü bariyerlerine yutucu özellik kazandırılmasında, karar verme amaçlı önemli bir rehber olması hedeflenmektedir. Akademik açıdan ise, deney imkânları kullanılarak geliştirilmiş bir malzemenin bariyer yüzeyine uygulanarak bilimsel açıdan yeni bir gürültü bariyeri kaplama malzemesinin kullanılması öngörülmekte ve betonarme bariyerlerin yansıtıcı özelliği nedeni ile kullanımı kısıtlı olan yerlerde de kullanılmasına olanak ve esneklik getirilmesi beklenmektedir.

1.2 Literatür Araştırması

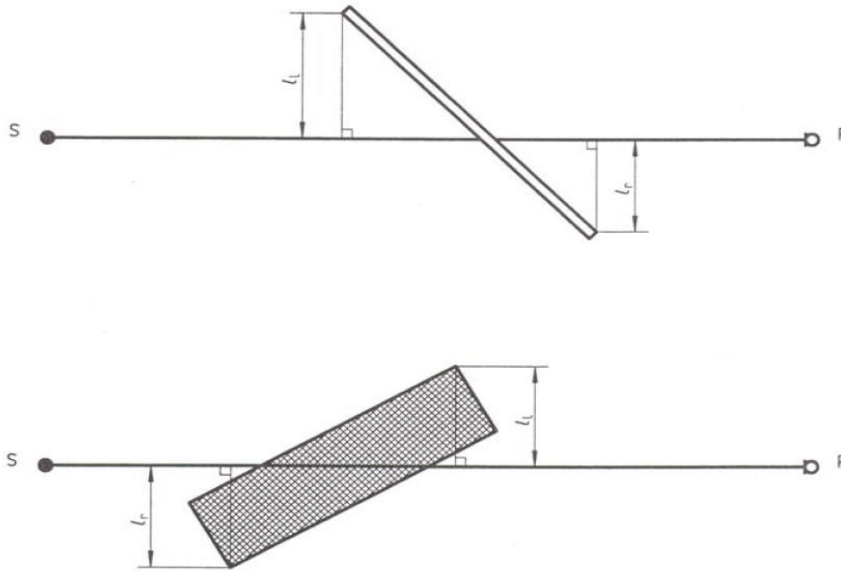
Bu çalışmaya temel teşkil eden literatür araştırmasında gürültü bariyerinin gürültü azaltma ve ses yutma özelliğini nasıl sağladığına dair teori, ülkemizde geçerli olan ve gürültü bariyeri uygulamasına esas teşkil eden mevzuat yapısı, yabancı ülkelerde gürültü bariyerine verilen önem, perlit ve perlitin yapısı ile perlitin ülkemiz kaynakları arasındaki yeri incelenmiştir.

1.2.1 Gürültü bariyer teorisi ve bariyerde kullanılan malzemeler

1.2.1.1 Bariyer etkisi

Bir sesin dışarıda yayılırken azalmasına ait genel hesaplama yöntemi TS ISO 9613-2 standardında verilmektedir (2006). Bariyer etkisinin dikkate alınabilmesi için bariyerin aşağıdaki özellikleri sağlaması gerekmektedir:

- Yüzey yoğunluğu en az 10 kg/m^2 olmalıdır,
- Büyük açıklıkları ve çatlak bulunmayan kapalı bir yüzeye sahip olmalıdır,
- Kaynak-alıcı hattına dik enkesiti yatay boyutu oktav bant için merkez frekansta akustik dalga boyundan (λ) daha büyük olmalıdır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Enkesit dalgaboyu ilişkisi.

Bir bariyerin üst kenarı ile yan kenarı kırılma açısından çok önemlidir. Rüzgar yönünde üst kenarın üzerindeki kırılmanın etkisi dB cinsinden aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$A_{bar} = D_z - A_{gr} > 0 \text{ dB} \quad (1.1)$$

Düşey kenarın etrafındaki kırılma ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$A_{bar} = D_z > 0 \text{ dB} \quad (1.2)$$

$$D_z = 10 \log \left[3 + (C_2/\lambda) C_3 z K_{met} \right] \text{ dB} \quad (1.3)$$

D_z : her bir oktav bant için engel azalması (dB)

A_{gr} : Bariyer olmadığı durumdaki zemin azaltım değeri (dB)

K_{met} : Meteorolojik etki düzeltme faktörü

$$K_{met} = \exp \left[- (1/2000) \sqrt{d_{ss} d_{sr} d / 2z} \right] \quad z > 0 \quad (1.4)$$

$$K_{met} = 1 \quad z \leq 0$$

Engellerin etrafındaki kırılmalar için K_{met} 1 alınmalıdır.

C_2 : 20 dir ve zemin yansımaları değerini ifade eder. Özel durumlarda, zemin etkileri zahiri kaynaklarla ayrı ayrı ele alındığında $C_2 = 4$ 'dür.

C_3 : Tek kırınım için 1'e eşittir.

$$C_3 = [1 + (5\lambda/e)^2] / [(1/3) + (5\lambda/e)^2] \text{ dB} \quad (1.5)$$

λ : Oktav bandın anma merkez bandının dalga boyu (m)

z : Yol uzunlukları farkı

d_{ss} : Kaynaktan ilk kırım noktasına olan mesafe

d_{sr} : İkinci kırılma noktasından alıcıya olan mesafe (m)

a : Kaynak ve alıcı arasındaki doğrudan mesafe (m)

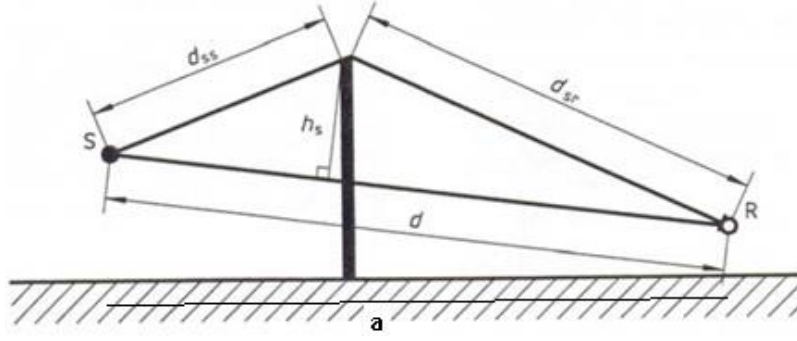
d : Kaynak alıcıyı birleştiren doğrunun uzunluğu (m)

e : çift kırılma durumunda iki kırılma noktası arasındaki mesafe (m)

olmak üzere;

Tek kırınım için:

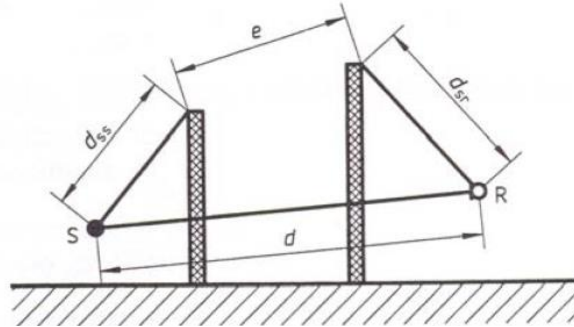
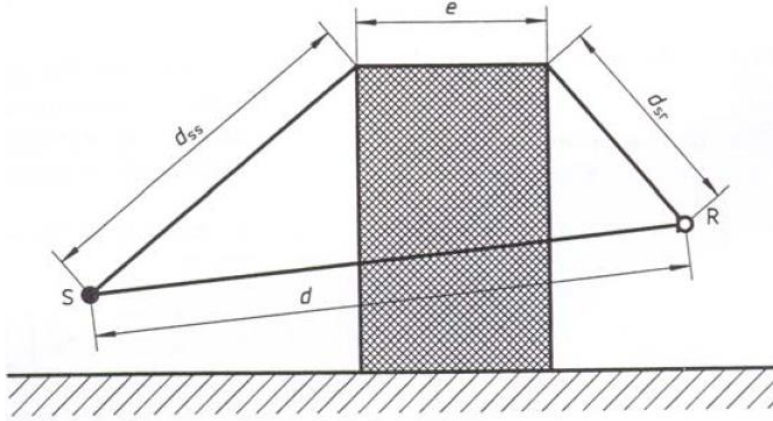
$$z = [(d_{ss} + d_{sr})^2 + a^2]^{1/2} - d \quad (1.6)$$



Şekil 1.2: Tek kırınım boyutları.

Çift kırınımlar için:

$$z = [(d_{ss} + d_{sr} e)^2 + a^2]^{1/2} - d \quad (1.7)$$



Şekil 1.3: Çift kırınım boyutları.

Bu engellerin meydana getirdiği herhangi bir oktav bandındaki azaltma miktarı tek kırılma durumundaki ince bariyerler için 20 dB'den, çift cidarlı kalın bariyerler için 25 dB'den büyük olacak şekilde hesaba katılmamalıdır.

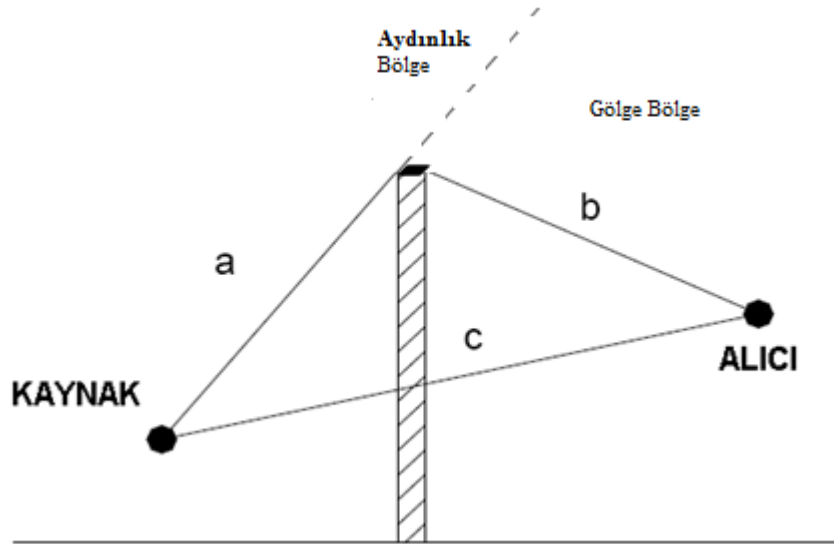
1.2.1.2 Homojen atmosfer şartları altında teorik gürültü bariyeri azaltma değeri

Bariyer, zeminden yansıyarak gelen ses dalgası ışınlarını önemli ölçüde azaltır. Doğrudan gelen ışın ile kırılan ışın arasındaki farkların araştırılması çalışmalarından en önemlisi Maekawa tarafından yürütülmüştür (1968). Bu çalışma bariyerin performans ölçümü için basit ve pratik metotlar içerir. Atmosferik şartların dikkate alınmadığı ve farklı bariyerler arasında hızlı bir karşılaştırma yapabilmeye yarayan gürültü bariyerinin teorik azaltım değeri hesaplanması incelenmiştir. Geliştirilen teoride, düşey bir bariyerin akustik performansı “Fresnel Sayısı (N)” olarak hesaplanır.

$$N = 2 \cdot \frac{\delta}{\lambda} \quad (1.8)$$

δ : Sesin doğrudan ve kırılarak aldığı yollar arasındaki mesafe farkı ($L_{P,diff}$) - ($L_{P,trans}$)

λ : Sesin havadaki dalga boyu



Şekil 1.4: Ses ışını yol farkının gösterilmesi.

$$L_{P,diff} : A+B$$

$$L_{P,trans} \text{ veya } L_{P,dirr} : C$$

$$\delta : (L_{P,diff}) - (L_{P,trans}) = A + B - C \quad (1.9)$$

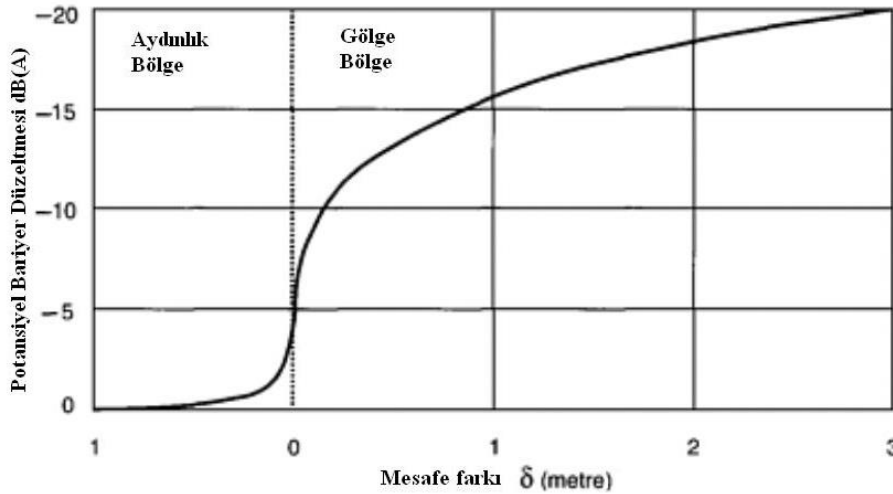
Bariyerin konulmasıyla gerçekleşecek kayıp (Insertion Loss) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$IL = 5 + 20 \cdot \log \frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh \sqrt{2\pi N}} \text{ dB} \quad -0,2 < N < 12,5 \quad (1.10)$$

$$IL = 25 \text{ dB}$$

$$N > 12,5$$

İngiltere’de kullanılan trafik gürültüsünün gürültü perdesi ile azaltılma değerini bulmak için aşağıda yer alan diyagram kullanılmaktadır. Buna göre bir bariyerin, gölge bölge için, teorik azaltma değeri 20 dB(A)’dır. Ancak, gerekli δ değerleri çok nadiren sağlandığı için gerçek uygulamalarda bu azaltma değeri limiti 15 dB(A)’dır.



Şekil 1.5: Mesafe farkı & potansiyel bariyer düzeltmesi.

Aydınlık bölgede $\delta \leq -0,6$ m değerine yaklaştığında bariyerin azaltma etkisi sıfıra yaklaşır ve bu bölgede şekilde görüldüğü üzere az da olsa bir azaltma sağlanmış olur. Gölge bölgede her 3 dB(A) azalma sağlayabilmek için $\delta \geq 0,5$ m olmalıdır. Buradaki hesap metotlarında frekansa dayalı hesaplardan kaçınmak için N’in kompozit değerleri kullanılmıştır. Bunlar bilinen trafik spektrumlarından, bariyerlerin akustik performansı ve tipik kompozit 300-500 Hz aralığına denk gelen N değerlerinden türetilmiştir. N’in kompozit değerlerinin kullanılması, bariyer gürültü azaltması hesaplarında A-ağırlıklı ses basınç seviyelerinin [dB(A)] kullanılmasını sağlar. Frensel katsayısının bulunmasını sağlayan denklemden görüleceği üzere, bir bariyerin performansı frekansa bağlıdır. Bariyerin konulmasıyla birlikte alıcı ortamındaki orta frekanslı yerden yansıyan sesler ($L_{P,grd}$) azalacak ve algılanan ses giderek düşük frekanslı olacaktır.

Eğer $L_{P,trans}$, alıcıyı etkileyen tüm ses seviyesi üzerinde önemli bir etkiye sahip değilse, yeterli gürültü azaltması ince bir duvar ile sağlanabilir. $L_{P,trans}$ ’ın tüm ses seviyesi üzerinde 0,5 dB(A)’lık bir etkisi kabul edilebilir sayılmaktadır. Bunun için aşağıdaki (1.11) kısıt getirilmektedir.

$$L_{P,trans} = L_{P,diff} + 10 \text{ dB}(A) \quad (1.11)$$

Gürültü bariyerinin sağladığı azaltma birçok faktöre bağlıdır; yüzey kütlesi (kg/m^2), rijitlik (stiffness), sesin gelme açısı gibi. Bunların içinde en önemli olanı yüzey kütlesidir. Berger Yasasının (yüzey kütlesinin 2 katına çıkarılması 6 dB azaltım sağlar) yerine İngiltere Ulaştırma Bakanlığı minimum yüzey kütlesi (M) için aşağıdaki formülü (1.12) kullanmaktadır:

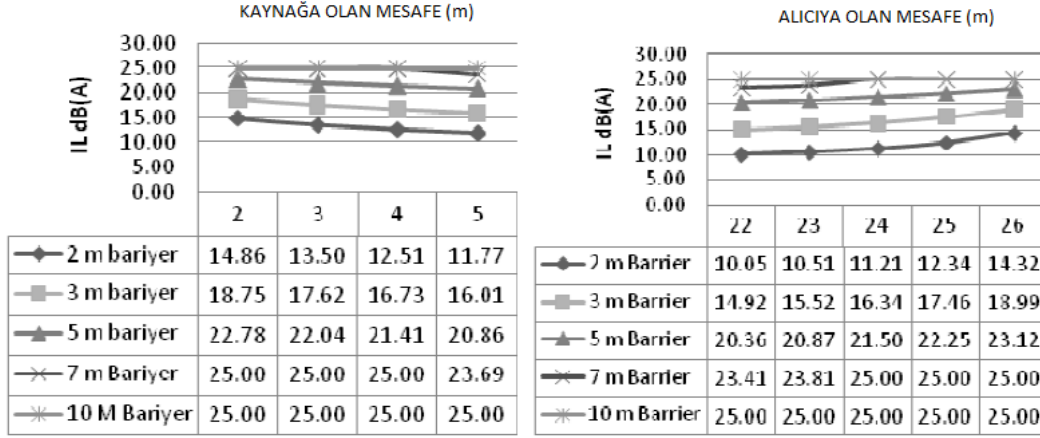
$$M = 3.10^{\left(\frac{A-10}{14}\right)} \text{ kg/m}^2 \quad (1.12)$$

A: Bir bariyerin potansiyel azaltma miktarı $\text{dB}(A)$ [$A = L_{P, \text{dir}} - L_{P, \text{diff}}$]

Burada sadece panelin yüzey kütlesi dikkate alınmakta, yüzeye uygulanan destek olarak yapıştırılan malzemelerin yüzey kütlesi dikkate alınmamaktadır.

1.2.1.3 Bariyer konumunun gürültü azaltımına etkisi

Atmosferik şartların gürültü yayınına etkisi dikkate alınmadan homojen dağılıma sahip bir gürültü yayımında gürültü bariyerlerinin konumlanması da gürültü azaltım miktarına önemli ölçüde etki etmektedir. Bir bariyerden en iyi akustik performansı sağlayabilmek için gürültü bariyerini kaynağa olabildiğince yakın konumlandırmak gerekmektedir. Bariyer yoldan uzaklaştıkça kaynak alıcı arasındaki doğrudan ve kırınım mesafeleri arasındaki fark olan δ değeri giderek azalacak ve dolayısıyla bariyere en uzak mesafede yer alan yol şeridi trafiği gölge alanı azaltarak bariyerin gürültü azaltım performansını düşürecektir. Bu durumda bariyerin yüksekliğini arttırmak hem bariyerin maliyetini yükseltecek hem de bariyerin etkinliğini azaltıp çevreye olan etkisini olumsuz yönde etkileyecektir. Öztürk ve diğ. (2012) yaptığı bir çalışmada, alıcı ile kaynak arasında 27m lik mesafede bariyer konumunun değişimi ile 3m yüksekliğindeki bir bariyerin gürültü azaltım performansı üzerinde yapılan çalışmada, bariyerin alıcıdan ve kaynaktan aynı miktarda uzaklaştığında oluşan azaltım değerleri arasında kaynağa yakın olan konumlanmanın daha etkin olduğu görülmektedir (Şekil 1.6).



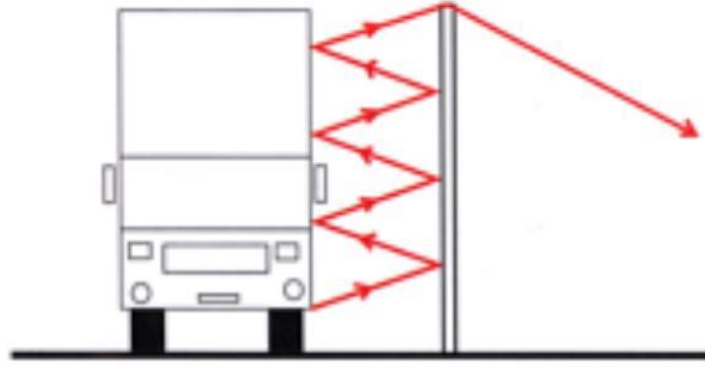
Şekil 1.6: Alıcı kaynak arası bariyer konumlanmanın akustik performansa etkisi (Çalış, 2007).

1.2.2 Gürültü bariyerlerinde akustik özellikler

1.2.2.1 Gürültü bariyerlerinde ses yansıtma ve yutum özellikleri

Gürültü bariyerleri tasarımı, gürültü bariyeri alıcı ile kaynak arasındaki doğrudan mesafe bariyer aracılığı ile kesilerek sesin alıcıya doğrudan ulaşması önlenir. Bu durumda ses ya bariyer üzerinden kırılarak ya da bariyer üzerindeki boşluklardan alıcıya ulaşır. Diğer bir yol ise, sesin yansımalar vasıtası ile alıcıya ulaşmasıdır.

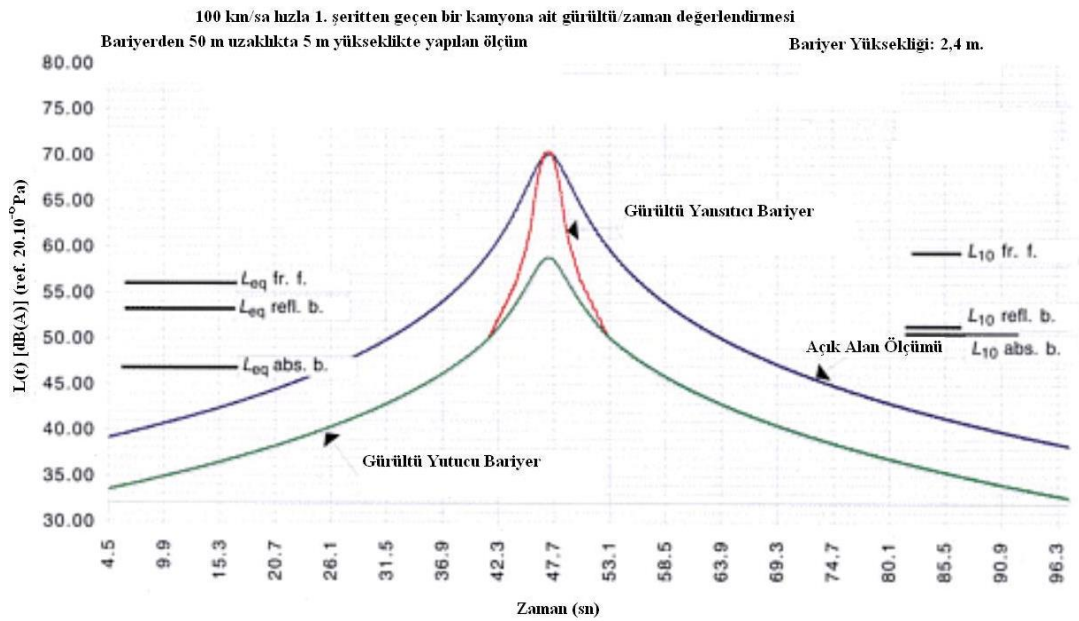
Özellikle yüksek araçların yola yakın konumlanmış gürültü bariyerleri üzerinde olumsuz etkisi bulunmaktadır. Bu tip araçların motor güçlerinin yüksek olması, tekerlek sayılarının ve yük taşıma kapasitelerinin fazlalığı nedeniyle oluşturdukları gürültü miktarı da hafif araçlardan daha fazla olmaktadır. Bunun dışında yüksek araçlar genellikle en sağ şeridi kullandıklarından bariyere en yakın araç grubunu oluşturmaktadırlar. Bu durumda, araç ile perde arasında bir ses rezonansı meydana gelmekte ve bariyerin üst bölümünde meydana kırılma nedeniyle oluşan gürültü bariyerin arkasına rahatlıkla geçebilmektedir (Şekil 1.7).



Şekil 1.7: Yüksek araç etkisi (Kotzen & English, 2009).

1.2.2.2 Gürültü bariyerlerine ses yutucu özellik kazandırılması

Tek yönlü bir bariyerin düşük katlı ve açık bir alanda bulunduğu tarafın karşısında teorik olarak 3 dB'e kadar gürültüyü arttırabildiği bilinmektedir. Bu miktardaki bir artışı trafik hacminin ikiye katlanması ile oluşan gürültü artışına eş tutabiliriz (Şekil 1.8).



Şekil 1.8: Yüksek araç, yansıtıcı bariyer etkisi grafiği (Kotzen & English, 2009).

$L_{fr.f.}$: Açık Alan Ölçümü (free field)

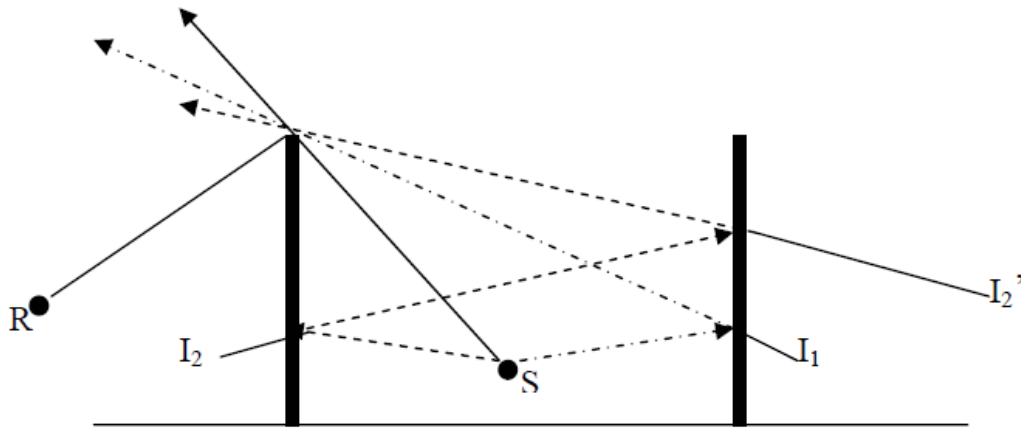
$L_{ref. b.}$: Yansıtıcı Bariyer Kullanılması Durumundaki Ölçüm

$L_{abs. b.}$: Yutucu Bariyer Kullanılması Durumundaki Ölçüm

Yukarıdaki grafik, tek bir kamyonun 100 km/sa sabit hız ile en sağdaki ilk şeridi kullanması durumunda 2.4 m yüksekliğindeki bariyerin 50 m uzağında ve 5 m yükseklikte yapılan ölçümlere aittir. Yutucu ve yansıtıcı tür bariyerlerin karşılaştırıldığı bu çalışmada, yansıtıcı bariyer kullanılması durumunda, kaynak, bariyer ve alıcının aynı hizaya geldiği durumda, bariyersiz durum ile aynı etkinin olduğu görülmektedir. Bu durumda alıcı açısından bariyerin varlığı bir önem taşımamaktadır.

Bu durum yüksek hızlı tren hatlarında da meydana gelmektedir. Tren hatlarında bariyerler genellikle hattan 1 m uzaklıkta konumlandırılmaktadırlar. Bu konumlama bariyer ve tren arasında sesin yansımaya sebep olmaktadır. Morgan ve diğ. (1998) göre ses yutucu bariyerlerin, şekle bağlı olmaksızın yansıtıcı özellikteki bariyerlere göre 6-10 dB arasında daha iyi performans gösterdikleri görülmüştür .

Paralel bariyerler gürültü azaltmanın yanı sıra başka bir problemi de yanında getirmektedir. Bu problem karşılıklı konumlanmış bariyerler sebebi ile sanal birçok ses kaynağının daha oluşmasına yol açmaktadır (Şekil 1.9).



Şekil 1.9: Yansımalar ile oluşan hayali gürültü kaynakları.

Yukarıdaki şekilden de görüleceği üzere S harfi ile gösterilen gürültü kaynağının I_1 , I_2 ve I_2' gibi hayali diğer gürültü kaynaklarını oluşturduğu görülmektedir. Bu sanal kaynakların birleşimi alıcı üzerinde önemli bir etki oluşturabilmektedir. Bu sanal kaynaklar ve gerçek kaynakların alıcı üzerinde oluşturacağı etki bariyerin konumuna, yüksekliğine, iki bariyer arasındaki mesafe gibi değişkenlere bağlıdır.

Bu sanal gürültü kaynaklarının oluşumunu önlemenin en önemli yolu bariyerlere gürültü yutucu özellik kazandırmaktır. Bu durumda oluşan gürültünün bariyer üzerinden yansıma yapıp, yeni bir kaynak oluşturmaya izin verilmez. Bunun yerine sesin bariyere temas ettiği noktada belli bir oranda veya tamamı ile yutularak etkinliği azaltılmış olur.

1.2.2.3 Ses yutumu ve ses yutum katsayısı ölçüm metotları

Ses yutumu; ses enerjisinin sesin çarptığı yüzeyler üzerinde ya da sesin yayıldığı ortamda ısı enerjisine dönüşerek azaltılmasıdır. Ortamda yayılan sesin ortam tarafından yutulması ortamın sıcaklığına, nemine ve sesin frekansına bağlıdır. Yüzey tarafından yutulan ses enerjisinin yüzeye çarpan sesin enerjisine oranı, “Ses Yutum Katsayısı” (α) olarak adlandırılır (Bağıntı 1.13). Bu katsayı, yutulan sesin enerjisinin gelen ses enerjisine oranla daha küçük olmasından dolayı 0 ve 1 arasında değer alır.

$$\alpha = \frac{E_i - E_r}{E_i} \quad (1.13)$$

α = Malzemelerin sesi yutum katsayısı

E_i = Sesin ilk enerjisi

E_r = Yansıyan sesin enerjisi

Malzemelerin ses yutma katsayılarını etkileyen faktörler şunlardır:

- Frekans; ses yutma katsayısı genellikle frekans ile artar.
- Malzeme; malzemenin kalınlığı ve yoğunluğu arttıkça ses yutma katsayısı artar. Malzemenin gözenekli yapısı ses yutma katsayısını artırır.
- Sesin gelme açısı; ses dalgalarının yutucu özellikteki yüzeye çarptıklarında yaptıkları açı, ses yutma katsayısını etkilemektedir.

Ses yutum odası kullanılarak TS EN ISO 354’e göre yapılan deney sonucu elde edilen “ses absorpsiyon katsayısı” ise bir deney numunesinin eş değer ses absorplama alanının deney numunesinin alanına oranı olarak tanımlanır ve α_s olarak gösterilir. S alt indisi, bir düzlem dalgası bir düzlem duvarına belli bir açıyla çarptığında, yansımayan ses enerjisinin gelen ses enerjisine oranı olarak tarif edilen ses absorpsiyon kat sayısı α ile karıştırılmasından kaçınmak için kullanılır. Bu “geometrik” ses absorpsiyon kat sayısı daima 1,0’dan küçüktür ve bu nedenle bir

yüzde olarak ifade edilebilir. α ve α_s ifadeleri birbirine gösterim olarak benzetilmektedir ancak birbiri ile karıştırılmaması gerekir.

Akustik ses yutum katsayısı malzemenin özellikleri değiştiğinde değişen bir özelliktir. Kalınlık, yoğunluk, hava akış direnci, montaj şekli bu değişkenlerden bazılarıdır. Geçmiş çalışmalar bu özellikler sabit kalsa dahi ölçüm metodlarının da farklı sonuçlar verebildiğini göstermiştir. Bilindiği üzere iki ölçüm metodu vardır: empedans tüpü metodu ve çınlanım odası. Bu metodlardan elde edilen sonuçlar da birbiri ile karıştırılmamalıdır. Bazı malzemelerde yapılan ölçümlerde benzer sonuçlar elde edilebilirken birçok malzemede sonucun birbirinden farklı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi malzemeye gelen ses enerjisinin tek yönlü veya dağınık olup olmamasından kaynaklanmaktadır.

Bazı genel yapı malzemelerine ait ses yutum katsayısı değerleri aşağıda (Çizelge 1.1) verilmiştir (Long, 2006).

Çizelge 1.1: Bazı malzemelerin ses yutum katsayısı değeri (500 Hz).

Malzeme Türü	Yaklaşık Ses Yutum Değeri (α) (500 Hz)
Beton, Mermer, Seramik	0,01
Sıva	0,02
Cam	0,03
Tuğla, Linolyum	0,04
Duvar Kağıdı	0,04
Halı (beton üzerinde)	0,14
Ahşap	0,10
Taşıyünü - 100 mm	0,65
Poliüretan Malzeme	0,90

Empedans Tüpü Ölçümü

Empedans tüpü bazen bir malzemenin, ses yutum katsayısı (sound absorption coefficient), ses yansıtma katsayısı (sound reflection coefficient), ses geçiş kaybı (sound transmission loss) ve normalize empendansını ölçmek için kullanılır. Ses yutum katsayısının empedans tüpleri ile ölçümünde birçok metod bulunmasına rağmen, iki adet uluslararası kabul görmüş standart metod mevcuttur: TS EN ISO 10534-1 duran dalga oranını kullanma metodu - standing wave method (ISO, 2001) ve TS EN ISO 10534-2 aktarım fonksiyonu metodu - transfer-function method (ISO, 2003b). Duran dalga metodunda her bir seferde bir frekansa ait ses yutum katsayısı

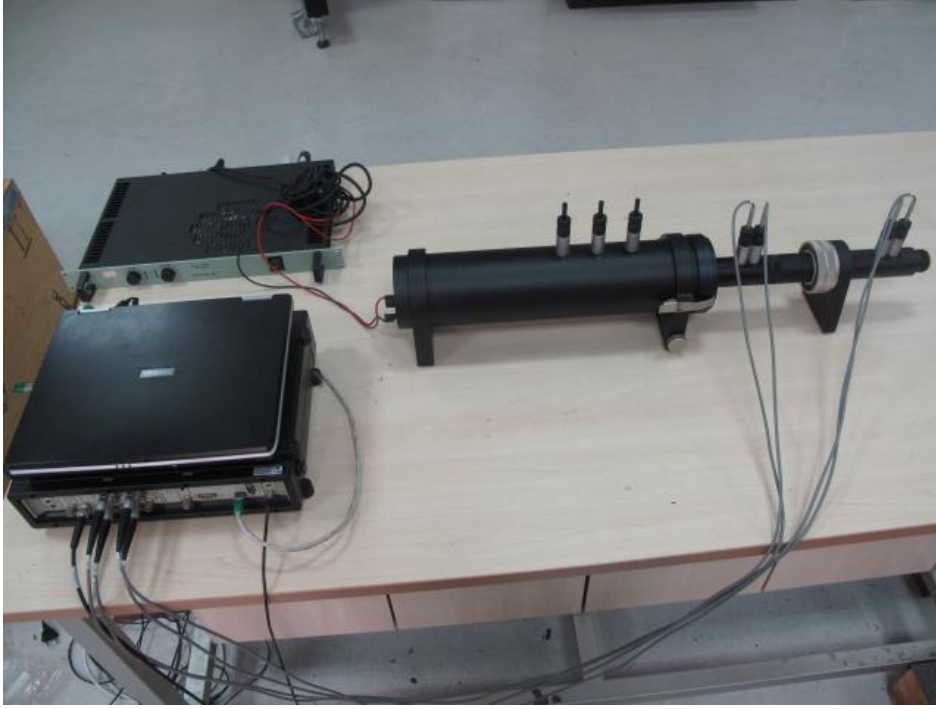
ölçülebildiğinden aktarım fonksiyonu metodu, duran dalga metoduna göre daha hızlı ve kesin sonuçlar üretmektedir.

Her iki metot da küçük test parçaları üzerinde deney yapılabilmesi üzerine tasarlanmıştır. 31,5-1.000 Hz arası ölçümler 100 mm çapında ve 1.000-20.000 Hz arasındaki ölçümler 30 mm çapında borular kullanılarak gerçekleştirilir. Bu nedenle tüm frekansların taranması için iki farklı numune boyutuna ihtiyaç vardır.

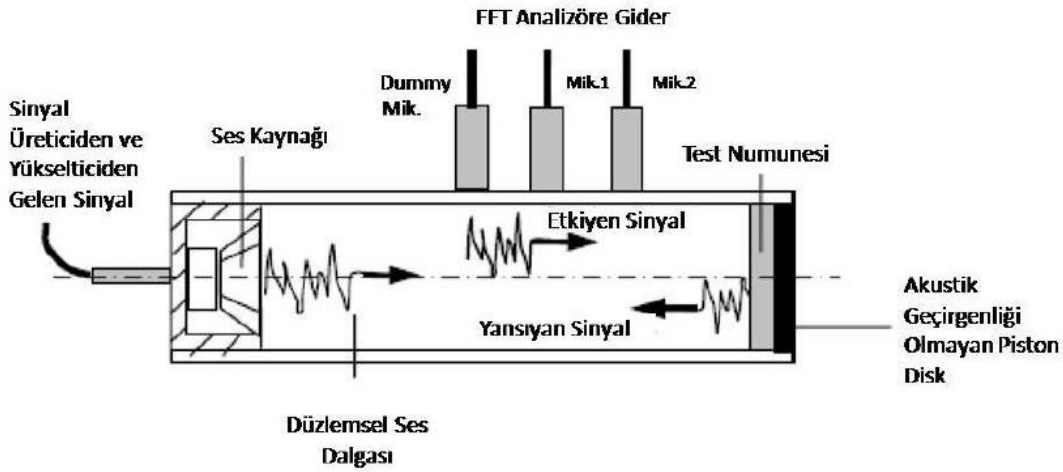
Ses yutum katsayısı ölçümünde ses kaynağı, boru içerisinde malzemeye doğru düzlemsel bir ses dalgası oluşturarak sesin malzemeden yansıması sağlanır. Burada kullanılan gürültü beyaz gürültüdür. Beyaz gürültüde ses her frekansta aynı enerjiyi taşımakta olup gürültü spektrumu (frekans-ses basınç düzeyi) grafiği her frekansta eşit bir dağılım gösterir, ancak pembe gürültünün aksine beyaz gürültüde her oktav bandında aynı enerji yoktur.

TS EN ISO 10534-2 aktarım fonksiyonu metodunda tüp içindeki ses basıncı numuneye yakın yerleştirilmiş olan 2 adet mikrofon tarafından ölçülür. İki mikrofondan alınan sinyaller arası aktarım fonksiyonu iki mikrofondan ayrı ayrı ölçülen basınç değerlerinin bir oranıdır. Yapılan işlemler genellikle bilgisayar yazılımları vasıtası ile kolaylıkla gerçekleştirilip deney sonuçları rapor halinde sunulmaktadır.

Empedans tüpleri yardımı ile ses yutumu ölçümünde numunenin hazırlanışı ve tüplere uygun şekilde yerleştirilmesi önem arz etmektedir (Şekil 1.10, Şekil 1.11).



Şekil 1.10: İTÜ Makine Fakültesi P.A. Hilton markalı empedans tüpü.



Şekil 1.11: Aktarım fonksiyonu metodu ile ses yutum katsayısı ölçüm düzeneği.

Çınlanım odası ölçümü:

Ses yutum katsayısı ölçümlerinde kullanılan bir diğer metot ise çınlanım odası ölçümleridir. Uluslararası Standartlara göre tanımlanmış test odaları içerisinde belli boyutlardaki test numuneleri yerleştirilerek çınlanım süresi farkından test odasına yerleştirilen test numunesinin ses yutum katsayısı elde edilir. Odalar hem geniş bir alana ihtiyaç duyarlar hem de inşa maliyetleri yüksektir. Buna rağmen elde edilen test sonuçları daha yaygın şekilde kabul görmektedir. Çınlanım odasında kullanılan test numuneleri de oldukça büyüktür. Uluslararası geçerliliği olan ASTM C423 standardına göre $5,57 \text{ m}^2$ ve ISO 354 standardına göre en az 10 m^2 olmalıdır.

Ölçüm oda içerisindeki çınlanım süresi farkının deney numunesi test odası içinde iken ve içinde değilken ölçülmesi esasına dayanır. Çınlanım süresi oda içindeki ses gücü seviyesinin bulunduğu düzeyden 60 dB düştüğü seviyeye kadar geçen süre olarak tanımlandığından ses yutucu malzeme odaya konulduğunda bu süre kısalmaktadır (Şekil 1.12).



Şekil 1.12: TUBİTAK UME çınlanım odası.

1.2.2.4 Gürültü bariyerlerine ses yutum katsayısı ölçüm standartları

Gürültü bariyerlerinin ses yutum özellikleri hesaplanırken, her frekans aralığındaki değerler yerine insan kulağının en hassas olduğu frekans değerleri dikkate alınır. Bu değerler 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz olarak alınarak, malzemenin bu frekanslardaki ses yutum katsayısı değerlerinin aritmetik ortalaması alınıp, sonuç en yakın 0,05 dB'e yuvarlanır ve malzemenin ses yutum katsayısı tek sayılı bir ifade haline dönüştürülmüş olur. ASTM C 423-2a standardında bu değer Gürültü Azaltma Katsayısı (NRC – Noise Reduction Coefficient) olarak (1.14) adlandırılmaktadır (ASTM, 2002).

$$NRC = \frac{\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}}{4} \quad (1.14)$$

Eğer NRC değeri 1,0'e yakınsa o malzemeler için ses yutucu özellikte malzemeler denilebilir. Eğer malzemenin NRC değeri 0,4 civarında ise bu durumda bu tip malzemeler için orta düzeyli ses yutucu malzeme, eğer NRC değeri 0,3'ten azsa bu durumda yansıtıcı malzeme denilebilir.

Avrupa standardı olan TS EN 1793-1 standardında ise trafik gürültüsünü azaltan sistemlerin akustik performansı için aşağıdaki (1.15) tek ifadeli ses yutum katsayısı formülünü vermektedir (2002).

$$DL_{\alpha} = -10 \log \left| 1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{si} 10^{0,1L_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1L_i}} \right| \quad (1.15)$$

α_{si} = 1/3 oktav bandındaki 18 frekanstan i. frekans için malzemenin ses yutum katsayısı

L_i EN 1793 -3’de tarif edilen 1/3 oktav bantı i. içindeki trafik gürültüsünün desibel cinsinden normal haldeki A-ağırlıklı ses basınç seviyesi,

DL_{α} = dB(A) cinsinden ses yutum özelliğinin tek sayılı değeri

Çizelge 1.2: TS EN 1793-1’e göre ses yutum performans sınıfları.

Sınıf	DL_{α} (dB)
A0	Belirsiz
A1	<4
A2	4-7
A3	8-11
A4	>11

TS EN 1793-1 standardı dışında genel olarak yapı malzemelerine uygulanan TS EN ISO 11654 ses yutum katsayısı sınıflandırma standardı da mevcuttur, ancak bu standart yol bariyerleri ve yol yüzeylerine uygulanmamaktadır, Çizelge 1.2. Çizelge1.3’de ise TS EN 1793-3 normleştirilmiş trafik gürültü spektrumu verilmektedir.

Çizelge 1.3: TS EN 1793-3 Normalleştirilmiş Trafik Gürültü Spektrumu.

f_i Hz	L_i dB
100	-20
125	-20
160	-18
200	-16
250	-15
315	-14
400	-13
500	-12
630	-11
800	-9
1000	-8
1250	-9
1600	-10
2000	-11
2500	-13
3150	-15
4000	-16
5000	-18

1.2.2.5 Gürültü bariyerlerine kullanılan bazı ses yutucu malzemeler

Paralel bariyer etkisinden kaynaklanan yansımalar, trafik hacmindeki yüksek ağır taşıt oranından kaynaklanan yansımalar, çevresel etmenlerden kaynaklanan yansımalar gibi gürültüye katkıda bulunan olumsuzluklar, çeşitli yollarla gürültü bariyerlerine ses yutuculuk özelliği kazandırılarak giderilebilir.

Bunlardan ilki bariyerlerin belirli bir eğimle konumlandırılarak paralel yansımaların önüne geçilmesidir (Şekil 1.13). Bu durumda yansımalar atmosfere doğru gerçekleşecek ve diğer paralel bariyer üzerinden gürültünün yansıması önlenerek sanal gürültü kaynaklarının da oluşması engellenmiş olacaktır.



Şekil 1.13: Eğik konumlu gürültü bariyeri örneği – Danimarka (Bendtsen, 2010).

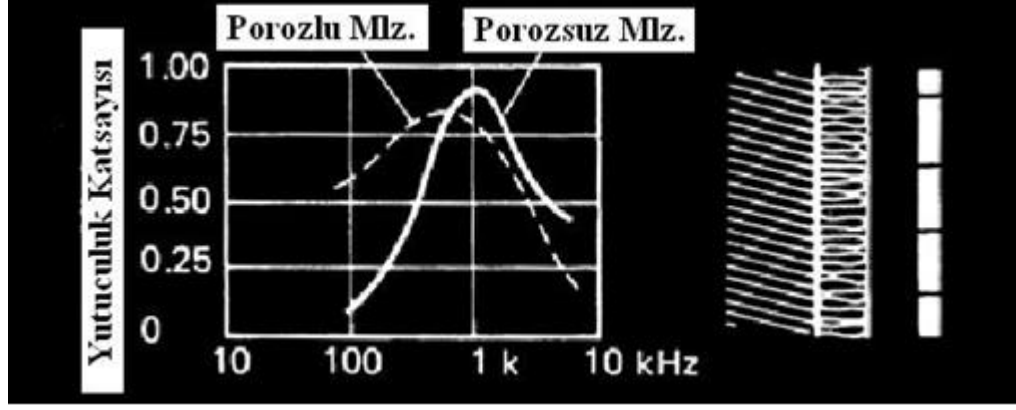
İkinci olarak ise bariyer üzerinde hem görselliği arttırıcı hem de sürücü üzerindeki sonsuzluk etkisini azaltan bitkilendirme işlemidir (Şekil 1.14). Bitkilendirme bariyerden gelen yansımaları hem önce (gelen ışın) hem de sonra (yansıyan ışın) azaltacaktır. Bu durumda dikkat edilmesi gereken husus bitkilendirmenin yaz kış yaprağını dökmeyen, yoğun yapraklı, yaygın ve yüksek yapılı bitkilerce yapılması gerektiğidir. Ancak bu şartlar altında yılın her döneminde aynı akustik performans elde edilebilir.



Şekil 1.14: Şeffaf bariyer ve bitkilendirme örneği - Danimarka (Bendtsen, 2010).

Son çözüm ise gürültü bariyer malzemesi olarak ses yutuculuğu yüksek olan malzemelerin kullanılmasıdır. Bunu sağlamanın birçok yolu vardır (Watts, Traffic Noise Barriers. TRL Annual Review, 1995):

- A. Ön yüzü delikli panelden imal olmuş içinde ses yutucu özellikte malzeme barındıran kutu tipi bariyerler: Bu bariyerlerin arka tarafı kapalı olup içine giren ses enerjisini içerideki ses yutucu malzeme yardımı ile ısı enerjisine çevirirler. Bu ses yutucu malzeme çoğu zaman taş yünü veya cam yünü olmaktadır (Şekil 1.15, Şekil 1.16).



Şekil 1.15: Poroz Yapılı Ses Yutucu Malzemelerin Ses Yutuculuk Katsayısı (Marsh, 1999).



Şekil 1.16: Ön yüzü delikli metal gürültü bariyeri örneği- Danimarka (Bendtsen, 2010).

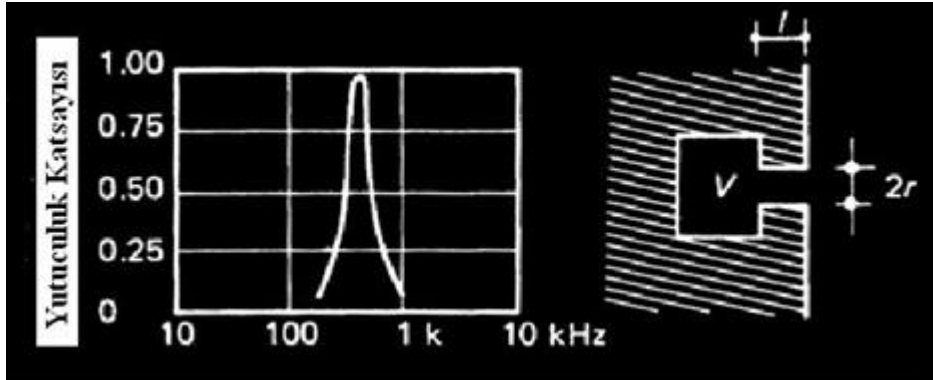
- B. Açık dokulu poroz malzemeden imal panel yapılı bariyerler: Bu tip bariyerler genellikle ses enerjisini iç boş kanallardaki sürtünme yolu ile ısı enerjisine çevirirler. Panel yapılı olmasının sebebi de arka yüzeyde sesin geçişini önleyecek kapalı bir yapının gerekli olmasıdır.

Bu tip bariyerlere, poroz betondan imal öndökümlü beton bariyerler, ahşap liflerin çimento ile bağlanması ile oluşturulmuş bariyerler, çelik örgü tel içinde taş yünü yerleştirilmiş bariyerler örnek olarak verilebilir (Şekil 1.17).



Şekil 1.17: Çelik çerçeve içine taş yünü ve ön yüzü hasır donatı kaplı gürültü bariyer örneği – Danimarka (Bendtsen, 2010).

- C. Yüzeyinde hermholtz rezonatör boşlukları bulunan bariyerler: Dar bir boynu olan küçük kapalı odacıklı malzemelerden imal bariyer tipidir. Bu oda içerisindeki hava belirli bir frekansta bir yay gibi davranarak sesi yutar. Dar frekans bant aralıklarında çok yüksek ses yutuculuk katsayısına sahiptirler. Bu dar frekans aralığı boşluk içerisine ses yutucu özellikte poroz (gözenekli) malzemeler kullanılarak genişletilebilir (Şekil 1.18).



Şekil 1.18: Helmholtz Ses Yutucu Malzemelerin Ses Yutuculuk Katsayısı (Marsh, 1999).

Aşağıda gürültü bariyerlerinde kullanılan bazı yapı malzemeleri ve akustik özellikleri incelenmektedir:

Cam Elyafı: Eritilmiş haldeki camın küçük deliklerden akıtılıp katılaştırılması sonucu üretilir. Isıl iletim katsayıları düşük olduğundan yalıtım malzemesi olarak kullanılırlar. Ayrıca yüksek mukavemet değerleri nedeniyle diğer malzemelerle birleştirilerek kompozit malzeme üretiminde kullanılır. Ses yalıtımında kullanılan plakalar genellikle 1,2 m x 2,4 m boyutunda, 25 mm kalınlıktadır. 100 mm kalınlığa kadar cam elyaf plakalar bulunabilir. Plaka yoğunluğu da 26-96 kg/m³ aralığında değişmektedir. Knauf Firması tarafından üretilen düz cam elyaf plakasına ait ses yutum katsayıları değerleri aşağıdaki çizelge 1.4'te verilmiştir (Url-2). Cam elyafı uygulamalarında ön yüzeyde bir koruyucuya ve montaj için taşıyıcı bir yapıya ihtiyaç vardır. Bu tip bariyerlerde ön yüze delikli saçtan imal bir kaplama veya delikli plastik bir yapı konularak cam elyafı fiziksel etkilerden, çamur, toz gibi kirleticilerden korunmuş olur. Akustik anlamda etkin bir bariyerin tasarımı için cam elyaf plakası arkasına 51 mm lik bir hava boşluğu konur ve boşluğun ardından arka yüzeyde yansıtıcı özellikte bir plaka yerleştirilir.

Çizelge 1.4: Knauf Markalı cam elyaf plakalarına ait bazı ses yutum katsayı değerleri.

Kalınlık	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	NRC
26 kg/m ³ için							
51 mm	0.31	0.57	0.96	1.04	1.03	1.03	0.90
64 mm	0.43	0.82	1.12	1.07	1.04	1.03	1.00
76 mm	0.47	0.92	1.17	1.06	1.06	1.04	1.05
96 kg/m ³ için							
51 mm	0.32	0.81	1.08	1.06	1.03	1.04	1.00
Not: 1,00'den büyük değerler fiziksel olarak mümkün değildir ancak test prosedürlerinden kaynaklanmaktadır.							

Mineral Yünü: Eritilmiş doğal volkanik kayalardan veya cüruf adı verilen demir üretim proses atığından elde edilir. Günümüz üretim şekli pamuk şekeri üretimine benzer şekilde erimiş kayanın döner tekerlekler üzerinde çevrilmesiyle yapılmaktadır. Neticede 6-10 mikrometre çaplı girift bir yün yumağı oluşur. Mineral yün içine bağlayıcı olarak kola (starch) ve tozumu önlemek üzere yağ konulmaktadır. Fiziksel ve akustik özellikleri bakımından cam elyafına benzemektedir. 100 mm Ursa Acoustic Roll taş yünü ürün için verilen ses yutum katsayısı değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Url-3).

Çizelge 1.5: Ursa markalı taş yünü plakalarına ait bazı ses yutum katsayı değerleri.

Kalınlık	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	NRC
100 mm	0.76	1.06	1.08	1.05	1.08	1.09	1.05
Not: 1,00'den büyük değerler fiziksel olarak mümkün değildir ancak test prosedürlerinden kaynaklanmaktadır.							

Ahşap Lifli Plakalar (Wood Fibre Planks): Plakalar ahşap liflerin bir bağlayıcı ile birleştirilmesi sonucu oluşur. Bağlayıcı olarak genellikle su ile sertleşen portlant çimentolu veya alçı esaslı bağlayıcılar kullanılır. Ahşap liflerin genellikle yangın geciktirici kimyasallar ile yangına dayanımı arttırılır. Durisol markalı çimentolu ahşap lif plaka üreticisine ait ses yutum katsayısı değerleri aşağıda Tablo 1.6da verilmiştir (2012).

Çizelge 1.6: Durisol markalı çimentolu ahşap lif plakalarına ait bazı ses yutum katsayı değerleri.

Kalınlık	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	NRC
51 mm	0.09	0.26	0.72	0.87	0.88	0.87	0.70
89 mm	0.18	0.48	0.97	1.94	0.96	0.94	0.85

Şekil 1.19'da bununla ilgili detay verilmektedir.



Şekil 1.19: Durisol markalı çimentolu ahşap lif malzemeden imal edilen duvar detayı.

1.2.2.6 Gürültü bariyerlerine ses yutucu malzeme seçim kriterleri

Gürültü bariyerlerinde ses yutucu malzemelerin seçiminde bazı hususlara dikkat etmek gerekmektedir. Menge ve Powers bu seçim yapılırken şunlara dikkat edilmesi gerektiğini belirtmektedirler (1979):

- A. Ses Yutum Kapasitesi: Bir gürültü bariyerinin uygulamada yeterli ses yutum performansı gösterebilmesi için NRC değerinin en az 0,6 olması gerekmektedir.

- B. Durabilite: Seçilen malzemenin gürültü bariyerinde kullanım ömrü boyunca güneş, rüzgar, su, tuz, araç kaynaklı emisyon gazları gibi kirleticiler ile sıcaklık değişimlerine maruz kalacağından yeterli fiziksel dayanıma sahip olması gerekmektedir.
- C. Akustik durabilite: Birçok poroz yapı gürültü bariyerinin ömrü boyunca maruz kaldığı çevre şartları, kirleticiler ve zorlu çevresel şartlar nedeni ile tıkanmakta ve gürültü yutucu özelliğini kısmen veya tamamen kaybetmektedir. Seçilen malzemenin akustik açıdan performansının azalmasına karşı dayanıklı olması gerekmektedir.
- D. Bakım: Bakım işlemleri tıkanmış olan gözeneklerin açılmasına dolayısıyla akustik performansın geri kazanılmasına yardımcı olacaktır. Ancak, bakım gerekliliği olmayan veya en az olan ürünlerin seçilmesi malzeme seçiminde esas kriter olmalıdır.
- E. Yangına Tepki Sınıfı: Bir gürültü bariyerinin yol kenarında güvenle kullanılabilmesi için bariyerde kullanılan malzemelerin yangına tepki sınıfının en düşük seviyede olması gerekmektedir.

1.2.3 Beton gürültü bariyeri

Özellikle otoyol kenarlarında kullanımı günden güne artmakta olan gürültü bariyerleri, gürültünün azaltılmasında etkili olmaları sebebiyle oldukça fazla talep almaktadırlar. Bariyerler genellikle 10-15 dB arası bir gürültü azaltımı sağlayabilirler, bu da sesin yarı yarıya azalması anlamına gelmektedir. Genel anlamda iki tip önlem vardır: Gürültü bariyeri ve toprak sedler. Kullanılacak bariyerin yüksekliği, yeri, uzunluğu gibi özellikleri için bir dizi gürültü ölçümleri yapılmaktadır. Bariyerin çevresi ile görsel uyumu bariyer tipi seçiminde nemli bir faktördür. Bu nedenle, ağaçlandırma ve bitkilendirme de bariyerler ile birlikte kullanılmaktadır. Gürültü bariyerlerinin tasarım ve inşasında aşağıdaki konulara dikkat edilmelidir:

- İstenen gürültü düzeyi
- Alan kullanımı, bakım ve inşaa maliyeti
- Rüzgar
- Zemin yapısı
- Araç etkileri (çarpma, araç hareketi rüzgarı vb)

- Araç ve yaya erişilebilirlikleri
- Deprem
- Su, elektrik ve drenaj
- Görsellik ve çevre ile uyumu

Amerika da yapılan bir araştırmaya göre en fazla kullanılan 3 bariyer tipi öndökümlü beton, toprak sed ve örme duvar olarak sıralanmaktadır ve bu listeyi ahşap bariyerler takip etmektedir (ICF International, 2008). Yine aynı araştırmaya göre:

- En fazla şikayet alınan ve bakımı raporlanan bariyer tipi ahşap gürültü bariyeridir ve bunun ardından öndökümlü (prekast) beton bariyer gelmektedir.
- Her eyaletin en az 1 malzemeyi yasakladığı belirlenmiştir. En fazla yasaklananlar sırasıyla bitkilendirme, tel örgü çit üzerine püskürtme (shotcrete) beton ve ahşaptır.
- Ahşap bariyerlerde en fazla şikayet alınan konular: zamanla eğilme ve bükülme, bozulma, reçine akması, düşük UV dayanımıdır. Amerika'nın Virginia Eyaletinde 1980lerde inşa edilen bir ahşap bariyer, 2008 yılına kadar 2 kez tamamıyla değiştirilmiştir.
- Beton bariyerlerde en fazla şikayet alınan konular: çatlama ve dökülmeler, düşük UV dayanımı olmaktadır.
- Gürültü bariyerinde en çok şikayet alınan ortak konu ise grafiti ve trafik kazası sonucu bariyerin yıkılmasıdır.

Beton, üretimi yapısı ile kalitesi kontrol altında tutulabilen oldukça yaygın kullanımı olan bir yapı malzemesidir. Özellikle beton santrallerindeki ileri teknoloji ve beton üzerine yapılan yoğun ar-ge çalışmaları sonucu dayanımı yüksek, birçok iklim koşullarına karşı dayanıklı ve her üretimde aynı karakteristikleri sağlayabilen beton üretmek mümkün hale gelmiştir. Beton bariyerlerin diğer bariyer tiplerine göre avantajları şunlardır:

- Beton gürültü perdeleri düşük bakım ihtiyaçları yönüyle en fazla tercih edilen bariyer tipidir.

- Beton piriz almadan önce veya uygun kalıplar ile beton üzerine istenilen yüzey tipi verilebilmesinden dolayı tasarım yönünden özgün, akustik olarak etkili ve görsel olarak estetik çözümler sunulabilir.
- İmalatında hammadde olarak taş, kum, su ve çimento gibi doğal ve kolay elde edilebilir maddeler kullanıldığından beton, çok zorlu fiziksel şartlar altında dahi yerinde döküm olarak bariyer imalatında kullanılabilir.
- Nitelikli işçi gereksinimi diğer bariyer tiplerine göre daha azdır.
- Trafik kaynaklı etkilerin yanısıra kullanımı boyunca alınıp satılabilecek bir özelliği bulunmadığından boyama hariç diğer vandalizm etkilerine karşı en dayanıklı malzemedir.
- Betonun özgül ağırlığı nedeniyle yüzey kütlesi ve rijitliği oldukça fazladır.

Betonun gürültü perdelerinde kullanımı iki şekilde yapılmaktadır: Yerinde döküm (in situ) ve prefabrikasyon. Bu iki tip üretimin de birbirine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Genellikle projesine göre değerlendirerek bir tercih yapılmalıdır. Tercih aşamasında proje süresi, yerinde imalata uygunluk ve prefabrik imalatın yapıldığı yer ile proje alanı arasındaki uzaklık gibi hususlar dikkate alınmalıdır.

Metal gürültü perdelerinde olduğu gibi, beton bariyerler de gürültüyü yansıtıp emme özelliğine göre iki sınıfa ayrılır.

Yansıtıcı beton paneller ve yerinde imal olunmuş (in situ) beton bariyerler, eğer tasarım aşaması iyi düşünülmüş, orantılar iyi seçilmiş ve bitkilendirme çalışmaları organik ve karışıklık oluşturacak yapıda kullanılmış ise, diğer bariyerler kadar efektif olarak kullanılabilir. Sadece beton yığınının oluşturduğu yapılar görünüş açısından biçimsiz, göze hoş gözükmeyen büyük beton alanlar oluşturmaktadır (Şekil 1.20).



Şekil 1.20: Görsel olarak istenmeyen, tekdüze beton gürültü perdesi (Kotzen & English, 2009).

Bitkilendirme kullanılmayan veya tasarımda değişiklik oluşturmeyen masif beton perdelerden sakınılmalıdır. Beton bloklarda kullanılan betonun rengi belirli aralıklarla değiştirilerek görsel tekdüzelikten kaçınılmış olur.

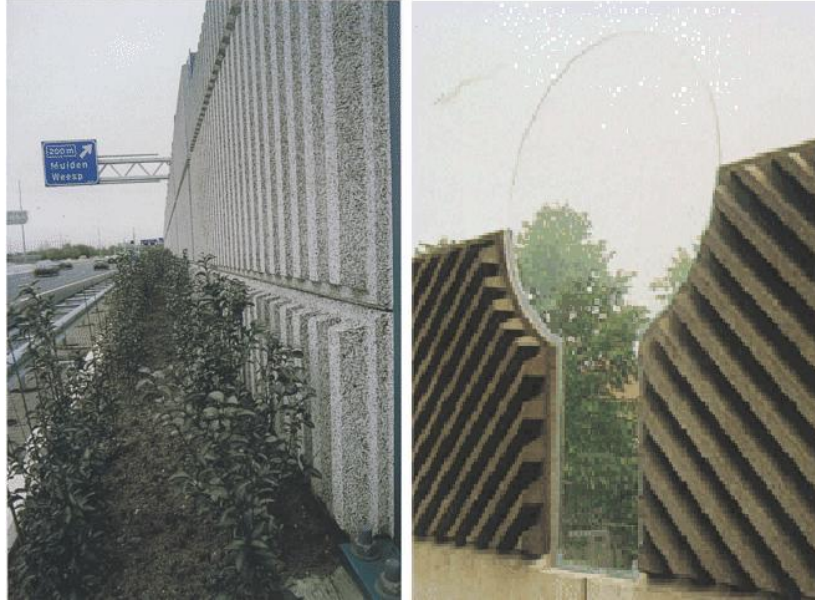
Birçok beton bariyer, I profile sahip çelik kolonlar arasına yerleştirilerek kullanılır. Bu kolonlar tabanda beton zemine ankrajlanmış veya beton içindeki yuvalarına yerleştirilmiş olduğundan daha az genişlikte beton ayak gerektirir ve bu sayede yapının düşey stabilitesini artırması dolayısıyla güvenilirliği artmaktadır. Bu sistemde kıvrımlı yapıdaki beton paneller kullanılabilmektedir ve paneller 10 m veya daha fazla yükseklikte olabilmektedir.

Beton bariyerler genellikle ses yansıtıcı özellikte olup ses yutum katsayıları NRC 0,1'den daha düşüktür. Diğer bir ifade ile özellikle trafik gürültüsünün baskın olduğu 250-4000 Hz düşük frekans aralığında beton bariyerler oldukça yansıtıcı özelliktedirler.

Gürültü yutucu özellikteki beton gürültü bariyerleri için iki örnek tip verilebilir; ahşap lifli (woodfibre) beton bariyerler ve taneli (granüler) beton bariyerler. İki tip bariyer de fabrikada istenilen boyut ve renkte imal edilir ve yerinde çelik kolonlar arasına monte edilir. Bu tip betonda ahşap lifler veya küçük çimentolu taneler agrega olarak kullanılır.

Paneller genellikle 4-5 m uzunluğunda ve bir yüzü veya iki yüzünün emici özellikte olup olmamasına göre değişen 140-190 mm kalınlığındadır. Genellikle tek yönlü

özelliği olan bir panelin genişliğinin üçte ikilik bölümü emici özelliktedir. Kalan kısmı ise katı betondan oluşur. Emici yüzeyin alanını arttırmak, dolayısıyla emilen gürültü miktarını arttırmak için bu bölüme oldukça sık olacak şekilde profil şekli verilir. Bu şekil yatay veya dikey olarak ve hatta değişik formlarda fabrikada üretim sırasında verilebilir. Bunun yanı sıra renk pigmentleri de fabrika imalat sırasında betona karıştırılabilir (Şekil 1.21).



Şekil 1.21: Ahşap lifli (solda) ve tanecikli (sağda) malzemeden imal edilmiş, değişik formlardaki beton gürültü perdeleri (Kotzen & English, 2009).

1.2.4 Ülkemizde gürültü mevzuatı

Ülkemizde trafik gürültüsü ile ilgili sınırları ve uygulayıcıların sorumluluklarını belirleyen yönetmelik Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından yayımlanan “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği”dir. 7 Mart 2008 tarihli mevcut yönetmelik 4 Haziran 2010 tarihinde Resmi Gazete’de yayımlanarak revize edilmiştir. Yönetmeliğin kapsamı aşağıdaki gibidir:

“MADDE 2 – (1) Bu Yönetmelik; özellikle nüfusun yoğun olduğu alanlarda, parklarda veya yerleşim bölgelerindeki diğer sessiz alanlarda, açık arazideki sessiz alanlarda, okul, hastane ve diğer gürültüye hassas alanlar da dahil olmak üzere insanların maruz kaldığı çevresel gürültüler ile çevresel titreşime yönelik esas ve usulleri kapsar.

(2) Bu Yönetmelik kişinin kendisinden dolayı maruz kaldığı gürültüyü, 26 ncı maddede belirtilen ev faaliyetleri dışındaki gürültüler ile komşuların oluşturduğu gürültüyü, 22/5/2003 tarihli ve 4857 sayılı İş Kanunu kapsamındaki işyerlerinde

alışan işçilerin maruz kaldığı gürültüyü, ulaşım araçlarının i gürültüsünü ve askeri alanlardaki askeri faaliyetlere bağlı gürültüyü kapsamaz”.

Yönetmelik ile birlikte gürültü ile mücadele amacıyla gürültü haritalarının çıkarılması ve stratejik eylem planlarının ortaya konulması gerekmektedir. Gürültü haritalarının hazırlanmasından ve evre ve Orman Bakanlığına gönderilmesinden belediyeler, büyükşehir belediyeleri ve Ulaştırma Bakanlığı sorumlu tutulmuştur.

Buna göre yerleşim yeri olarak tanımlanan alanlarda bulunan tüm limanlar, sanayi alanları, atölye-imalathane-eğlence yerleri ve benzeri kaynaklar ile tüm karayolları, tramvay ve yerüstü metro istasyonlarının gürültü haritaları belediyeler tarafından hazırlanacaktır.

Yerleşim yeri olarak tanımlanan bölgelerde bulunan tüm karayolları, demiryolları ile belediye sınırları ve mücavir alan dışındaki ana demiryolları, havaalanları ile belediye sınırları ve mücavir alan dışındaki ana havaalanlarının gürültü haritaları, Ulaştırma Bakanlığı tarafından hazırlanacaktır.

Belirlenen yerleşim alanlarının büyükşehir belediyeleri sınırları içinde olması halinde ile belediyeleri ile koordinasyon içinde gürültü haritalarının ve eylem planlarının ilgili büyükşehir belediye başkanlığı tarafından hazırlanması gerekmektedir.

Yönetmelikte 30 Haziran 2013 tarihine kadar

- 1) İki yüz elli binden (250.000) fazla yerleşik nüfusu olan yerleşim alanları,
- 2) Yılda altı milyondan (6.000.000) fazla aracın geçtiği ana kara yolları,
- 3) Yılda altmış binden (60.000) fazla trenin geçtiği ana demir yolları,
- 4) Yılda elli binden (50.000) fazla hareketin gerçekleştiği ana hava alanları

için bir önceki takvim yılındaki durumu gösteren stratejik gürültü haritalarının hazırlanması ve 30 Haziran 2011 tarihine kadar ve daha sonra her 5 yılda bir de bu alanların Bakanlığa bildirilmesi gerekmektedir. 18 Temmuz 2014 tarihine kadar da bu alanlara ait gürültüyle mücadele amaçlı eylem planlarının hazırlanmış olması gerekmektedir.

Eylem planları içerisinde yetkili otoritelerin alabilecekleri nlemler Yönetmeliğin EK-5 Madde 2’de şu şekilde sıralanmıştır:

- a) Trafik planlaması,

- b) Arazi kullanım planlaması,
- c) Gürültü kaynaklarında teknik tedbirler,
- ç) Daha az gürültü üreten kaynakların seçilmesi,
- d) Ses iletiminin azaltımı, (Örneğin gürültü bariyerleri gibi (gürültü bariyeri tasarımının yapılması halinde TSEN 1793-1, TSEN 1793-2 ve TSEN 1793-3 hesaplama standartlarının göz önünde bulundurulması)
- e) Düzenleyici veya ekonomik nitelikli tedbir ve teşvikler.

Karayolları ile ilgili olarak, Yönetmeliğin Ek – VII de yer alan tablolarda karayolu çevresindeki sağlanması gereken sınır gürültü değerleri aşağıdaki tabloda (1.7) verilmiştir. Karayolundan kaynaklanan gürültü değerlerinin bu sınır değerleri aşmaması istenmektedir.

Çizelge 1.7: Karayolu çevresel gürültü sınır değerleri
(Çevre ve Orman Bakanlığı , 2010).

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

1.2.5 Gürültü bariyerlerinin diğer ülkelerdeki durumu

Yürürlükteki Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği gereği sorumlu yönetim birimleri sınır değerleri aşan karayolları üzerinde gerekli eylem planlarını hazırlayıp önlemlerini almalıdır. Bu önlemlerden biri de ses iletiminin azaltılmasını sağlayan gürültü bariyerleridir. Ülkemizde uygulaması yeni olan bu bariyerlerin Avrupa ülkeleri ile Amerika gibi birçok ülkede yaygın olarak gürültü ile mücadelede kullanıldığı bilinmektedir.

Ülkemizdeki mevcut yönetmelik, Avrupa Birliği uyum süreci gereği eski Gürültü Kontrol Yönetmeliği'nin AB mevzuatına uyumlu hale getirilmesi ile yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik Avrupa Birliği ülkelerinde de geçerli olmakla birlikte Avrupa Birliği ülkeleri için 2002 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikte gündüz gürültü eşdeğer sınır değerleri (L_{den}) 55-65 dB(A) arasında yer almaktadır. AB kurucu üyelerinden Hollanda bu yönetmeliğin iyi uygulama örneklerini taşımaktadır. Zeist şehrindeki A28 otoyolunun trafiğe açılması için, otoyol çevresindeki büyük yerleşim alanındaki binalarda istenilen gürültü düzeyini sağlayacak uygun bir bariyerin inşa edilinceye kadar, 3 yıl beklenmiştir (Kotzen & English, 2009). Yeni inşa edilen yolların yanı sıra mevcut yollarla ilgili de önemli gürültü problemleri yaşanmaktadır. Yine Hollanda'da Dordrecht şehri sakinleri A16 otoyolu gürültüsünden ne kadar rahatsız olduklarını bir milletvekilini Çevre Bakanını bir gece evlerinde uyumaya ikna ederek göstermişlerdir. Bunun üzerine 10 m yükseklikte karma malzemeli sundurma tipi bariyer inşa edilmiştir (Şekil 1.22), (Kotzen & English, 2009).



Şekil 1.22: Sundurma tipi gürültü bariyeri Dordrecht, Hollanda (Kotzen & English, 2009).

Amerika’da 1976 yılında Amerikan Konseyi aldığı karar ile ekonomik olarak uygun ve kullanımı için gerekli olduğu yerlerde gürültü bariyeri inşa edilmesini kabul etmiştir (WSDOT, 2010). Amerika’da her eyalete bağlı olan ulaştırma bölümü (DOT) gürültü bariyeri inşası noktasında belirli mali üst limitler belirlemektedir. Ancak bu limitler genellikle aşılmakta, bu nedenle ya bariyer hiç inşa edilmemekte ya da ekonomik olarak uygun olmamasına rağmen inşa olunmaktadır. Dolayısıyla gürültü bariyerleri, dünyanın birçok yerinde olduğu gibi, çoğunlukla maliyet olarak etkin değildir. FHWA tarafından 1995 yılında yayımlanan bir rehber ile Amerika’da gürültü bariyeri inşa edilmesi noktasında her eyaletin bir miktar esnekliği bulunmaktadır. Böylelikle her eyalet kendi bariyerinin tasarımı, malzeme seçimi, estetik kriterleri, birim maliyetler ile ilgili kriterleri, durabilitesi ve çevresel etkileri gibi birçok konuda kendine ait kurallar koyma şansı yakalamıştır. Buna rağmen her eyaletin bilgi ve uygulama tecrübesinin diğer eyaletler ile paylaşılması noktasında 45 adedi Amerikan eyaleti olmak üzere 50 katılımcı ile bir çalışma yapılmıştır (ICF International, 2008).

1963 yılından 2010 yılına kadar Amerika’da inşa edilmiş gürültü bariyerlerine ait istatistikî birçok veriye FHWA’nın resmi web sitesinden ulaşmak mümkündür. Bu verilere göre (FHWA, 2012);

- Amerika’da 2010 yılına kadar yaklaşık 4422 km kadar gürültü bariyeri inşa edilmiş olup, 2010 yılına göre güncellenmiş maliyeti yaklaşık 5,444 milyar Amerikan dolarıdır.
- Bariyer yüksekliğine karşılık inşa edilen bariyer uzunluğu Çizelge 1.8’deki gibidir.

Çizelge 1.8: 2010 yılına kadar inşa edilmiş gürültü bariyerlerine ait uzunluk-yükseklik değerleri (FHWA, 2012).

Yükseklik (m)	Uzunluk (km)	% Toplam
< 1,83	53,9	%1,2
1,83 – 2,44	345,4	%7,8
2,74 – 3,35	735,9	%16,6
3,66 – 4,27	1362,1	%30,8
4,57 – 5,18	1028,2	%23,2
5,49 – 6,10	609	%13,8
> 6,10	270,5	%6,1
Toplam	4422	%100

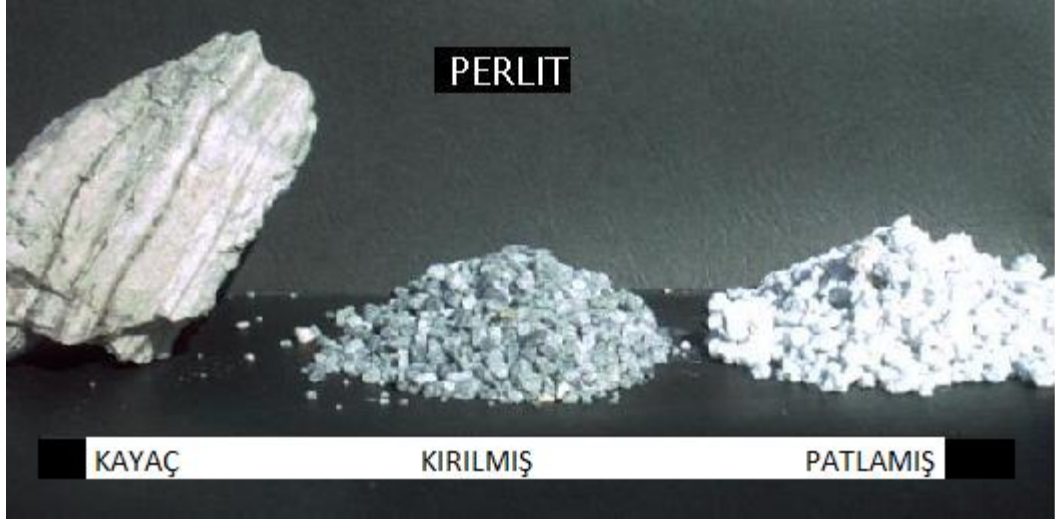
- Tek malzemeden imal edilen bariyerlerde, kullanılan malzemelerin alan bakımından en fazla kullanılanı %53,3 ile prekast (öndökümlü) betondur. Diğer malzemelerden blok elemanlar (% 21,5) ve ahşap elemanlar (%7,5) olarak sıralanmaktadır. Tüm bariyerlerin yaklaşık %11'i birden fazla malzemenin kombinasyonundan oluşmuştur.
- Amerika'da 1990-2010 yılları arasında her yıl yaklaşık 162 km gürültü bariyeri inşa edilmiştir.

1.2.6 Perlit

Perlit, ısıyla genleşme özelliği olan, genleştirildiğinde çok hafif ve gözenekli bir hale geçen volkanik bir kayadır. Volkanik kayalar kırıldığında oluşan küçük beyaz tanecikler inciye (pearl) benzediğinden dolayı, perlitin kelime kökeni “perle”dir.

Perlit kayaları renk olarak birbirinden farklı olabilir ancak tüm perlit kayaları 850-900°C gibi yüksek sıcaklıkta patlatılıp genleştirildikten sonra beyaz rengini alır. Patlayarak genleşme özelliği ile perlit diğer volkanik kayalardan ayrılır. Genleşmiş perlitin rengi kar beyazı ile grimsi beyaz tonları arasında değişmektedir. Patlatılmış perlit, ilk hacmine oranla 4-20 kat arasında hacim kazanmaktadır.

Perlit içinde %2-6 arasında değişen oranda su barındırır. Bu su patlatma sırasında yüksek sıcaklık nedeni ile buharlaşarak perlit içinde sayısız küçük baloncuk veya odacık meydana getirir. Bu patlama neticesinde meydana gelen hacim artışı neticesinde kırılmış ham perlitin yaklaşık 1100 kg/m³ olan ham yoğunluğu patlama sonrasında 30-150 kg/m³ değerlerine kadar düşer (Şekil 1.23).



Şekil 1.23: Perlitin fiziksel üç hali.

1.2.6.1 Fiziksel ve kimyasal özellikleri

Perlitin fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıdaki gibidir (Bilget, 1986):

Genel Fiziksel Özellikleri	:
- Renk	: Beyaz, gri ve tonları
- Yumuşama noktası	: 870-1100°C
- Ergime noktası	: 1260-1343 °C
- PH	: 7,5-8,0
- Özgül ısı	: 0,2 Cal/g°C (837 J/Kg.k)
- Özgül ağırlık (kayaç)	: 2200-2400 kg/m ³
- Refraktif İndeks	: 1,5
- Serbest nem (%)	: Maksimum 0,5
- Gevşek yoğunluk(Genleşmiş)	: 32-400 kg/m ³
- Isı iletkenliği(Genleşme)	: 0,04 W/m.k
- Asitte erime özelliği	: Konsantre sıcak alkali ve hidroklorik asitte erir. : Konsantre mineral asitlerinde az erir (% 2) : Seyreltik mineral veya konsantre zayıf asitlerde çok az erir (% 0.1).

Bazı kimyasal özellikleri (%):

SiO ₂	71.0 - 75.0
AlO ₃	12.5 - 18.0
Na ₂ O ₃	2.9 - 4.0
K ₂ O	0.5 - 5.0
CaO	0.5 - 0.2
Fe ₂ O ₃	0.1 - 1.5
MgO	0.02 - 0.5

1.2.6.2 Rezervler ve üretim

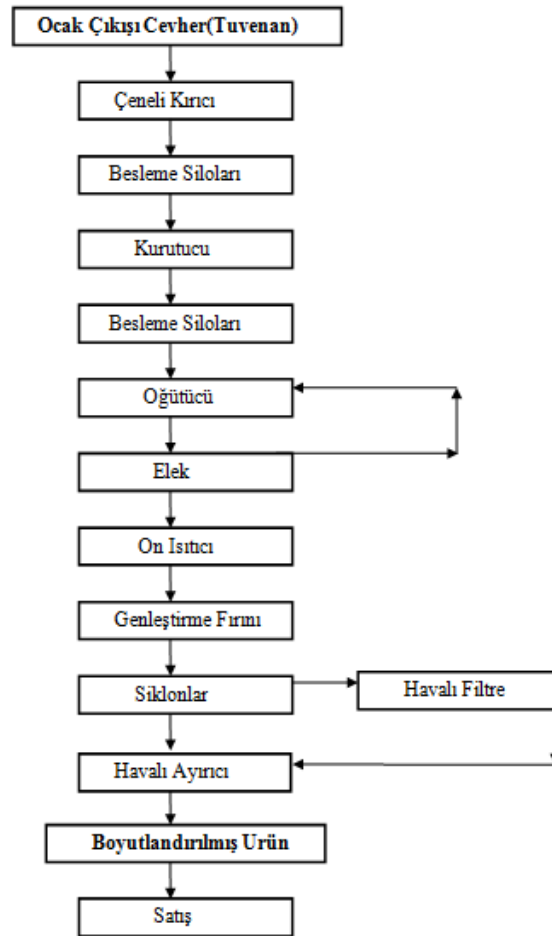
Dünya perlit rezervinin yarısından fazlasının Türkiye’de bulunduğu (Houssa, 1999) ve Türkiye’nin muhtemel perlit rezervinin yaklaşık 4,5 milyar ton civarında olduğu tahmin edilmektedir (Uyanık, 2010). 2011 yılında Dünya’da 1,7 milyon ton perlit üretildiği ve bunun büyük bölümünün Yunanistan, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve Türkiye tarafından üretildiği belirtilmektedir (Bolen, 2011). Çizelge 1.9’da Türkiye’nin de bulunduğu bazı ülkelere ait yıllara bağlı olarak perlit üretim değerleri bulunmaktadır (European Association of Mining Industries, Metal Ores & Industrial Minerals , 2012).

Çizelge 1.9: Perlit üretimi (Mt).

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Yunanistan	0,778	0,818	0,841	0,839	1,079	1,053	1,075	1,039	0,900	0,861	0,863	0,817
ABD	0,711	0,625	0,611	0,638	0,493	0,508	0,508	0,454	0,409	0,434	0,380	0,529
Japonya	0,260	0,260	0,260	0,260	0,250	0,255	0,240	0,240	0,240	0,230	0,220	0,210
Türkiye	0,148	0,149	0,155	0,200	0,137	0,134	0,157	0,145	0,160	0,160	0,160	0,160
Dünya	2,236	2,230	2,192	2,257	2,383	2,367	2,330	2,219	2,012	1,946	1,934	2,012

Perlit ülkemizde doğuda Erzurum, Kars, Ermenistan sınırları ile batıda İzmir, Çanakkale, Manisa, Dikili, Bergama dolaylarında çıkarılmaktadır. Orta Anadolu’da ise Ankara ve çevresinde perlit kaynakları bulunmaktadır.

Maden ocağından çıkarılmış hali ile kayaç haldeki perlit iki ana süreçten geçirilerek genişleştirilmiş perlit haline getirilir (Şekil 1.24). İlk süreçte kayaç perlit öncelikle kırılır ve daha sonra çeşitli boyutlara elenerek depolanır. Perlit dane boyut talebi farklı sektörler için birbirinden farklı olduğundan eleme işlemine özen gösterilmektedir. İkinci süreçte ise iki alt kademe bulunmaktadır. İlk alt kademede kırılmış perlit parçacıkları 400°C'ye kadar ısıtılarak içinde serbest bağlı bulunan su uzaklaştırılır. Bu sıcaklık perlitin cinsine göre 350°C-600°C arasında değişmektedir. Bu aşamaya ön ısıtma adı verilmektedir. İkinci alt kademede ise ön ısıtmada serbest suyu alınmış perlit 700°C-1200°C arasında bir sıcaklıkta bulunan ortama verilerek mısır gibi patlaması sağlanır. Bu aşamada perlit içindeki öz su buharlaşarak perlitin 4-20 kat arasında genişlemesine sebep olur. Ön ısıtma ile serbest su uzaklaştırmanın yanı sıra perlit bünyesindeki bağlı öz su oranı da azaltılmış ve yumuşama sıcaklığına gelmiş olan perlitin kolay patlaması ve ikincil kademedeki yüksek ısıl farktan dolayı kırılması önlenmiş olur. Isıtma işlemlerinde yatay veya dikey fırınlar kullanılır.



Şekil 1.24: Genleştirilmiş perlit üretimi akış şeması.

Çizelge 1.10'da ham ve patlatılmış perlit özellikleri görülmektedir.

Çizelge 1.10: Bergama'daki bir madencilik firmasına ait ham ve patlatılmış perlit özellikleri.

ÜRÜN	YÜZDE SU EMME MİKTARI	YIĞIN YOĞUNLUĞU	BOYUT	GENLEŞME SICAKLIĞI
126 Az Genleşmiş Perlit	135-150%	200-220 g/l	0,8-2 mm	780 - 830 °C
202 Az Genleşmiş Perlit	110- 125%	210-230 g/l	0,8-4 mm	800 - 850 °C
674 Genleşmiş Perlit	700- 800%	65-75 g/l	0-1 mm	850 - 900 °C
Atık Perlit	350-450%	190-220 g/l	0-0,8 mm	
202 Ham	12-17%	1000-1200 g/l	1,6-2,4 mm	
674 Ham	38-47%	950-1100 g/l	0,15-0,6 mm	
126 Ham	40-50%	930-1050 g/l	0,6-1,6 mm	
150 Ham	40-50%	920-1050 g/l	0-0,15 mm	
1-0,5 mm Silis Kumu	27-33%		0-0,5 mm	

1.2.6.3 Kullanım alanları

Perlit hem işlenmemiş hem de işlenmiş olarak satılabilmekte, inşaat, tarım ve sanayii olmak üzere başlıca 3 ana sektörde kullanılmaktadır.

1. İnşaat Sektörü:

- Perlitli sıvalar
- Perlit agregalı hafif yalıtım betonu (Çimento veya alçı bağlayıcılı)
- Perlit agregalı hafif yapı elemanları
- Isı ve ses yalıtıcı gevşek dolgu maddesi olarak perlit kullanımı
- Yüzey döşemelerde ısı ve ses yalıtıcı olarak perlit kullanımı
- Çimento ve alçı dışındaki bağlayıcılarla yapılan özel amaçlı perlit betonları

2. Tarım Sektörü :

Toprağın fiziksel özelliklerini arttırıcı "substrat" maddesi olarak kullanılmaktadır.

- Tarla tarımında
- Bahçe tarımı ve seracılıkta (fide yetiştiricilik, kültür tarımı vb.)
- Çimli spor alanlarında

3. Sanayi Sektörü :

Sanayi’de birçok alanda perlit geniş bir kullanım alanına sahiptir. Belli başlı kullanım alanları ise aşağıda verilmektedir.

- a) Gıda, ilaç ve diğer kimyasal maddeler üretiminde süzme yardımcı maddesi olarak kullanımı
- b) Sanayide ısı yalıtımında kullanımı (1000°C’ye kadar)
- c) Metalurjide kullanımı
- d) Seramik ve cam sanayiinde katkı maddesi olarak kullanımı
- e) İlaç ve kimya sanayiinde dolgu maddesi olarak kullanımı.

1.2.7 Ses yutucu bariyerler üzerine yapılan araştırmalar

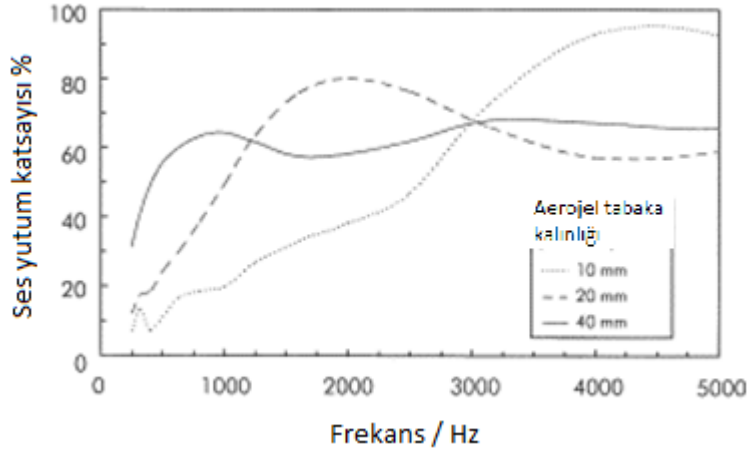
Gürültü bariyerlerinin ses yutuculuk özelliği üzerine birçok çalışma yapılmış olup yapılan literatür araştırmasında perlit ve perlit esaslı kaplamaların gürültü bariyerlerinde kullanımı ile ilgili bir çalışma ile karşılaşılmamıştır. Bu yönü ile bu çalışmanın literatür anlamında önemli katkılar sağlaması beklenmektedir.

Gözenekli yapıdaki yutucu özellikteki malzemeler genel anlamda hücreli, lifli veya granüler yapıları olarak 3 grupta sınıflandırılabilir. Ayrıca poroz yapı, içsel yapısına göre “kör” yani tek taraflı açıklığa sahip veya “bağlantılı” yani bir taraftan öbür tarafa geçişe izin veren şeklinde de sınıflandırılabilir. Ticari olarak piyasada bulunan gürültü emici malzemelerin çoğu lifli (fiber) yapılıdır. Arenas ve Crocker poroz yapılı gürültü emici özellikleri malzemelerdeki gelişmeler üzerine bir araştırma yapmışlardır (2010). Araştırmaya göre doğal ve sentetik olarak elde edilebilen birçok çeşit poroz malzeme bulunmaktadır. Araştırma göstermektedir ki, günümüzde bu tip akustik özellikteki malzemelerin seçilmesinde daha çok geri dönüşüme elverişli, düşük karbon ayak izine sahip ve CFC salınımı olmayan ekolojik olarak yeşil bina malzemesi olarak adlandırılan malzemeler tercih edilmektedir. Malzeme teknolojisindeki gelişmelerle birlikte metal, seramik ve jel formundaki poroz malzemeler de geliştirilmiştir.

Metal köpükler, özellikle alüminyum köpükler bu amaca uygun olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Metal köpükler akustik özellikleri yanı sıra yüksek rijitlik, düşük ağırlık, yangına dayanım ve düşük nem içeriği sebebi ile de tercih edilmektedir.

%80-90 poroziteye sahip ve 1500°C’ye kadar dayanıklı seramik köpükler de özellikle yüksek sıcaklıklara dayanım gerektiren yerlerde kullanılabilir.

Aerogeller ise donmuş duman olarak da adlandırılmaktadır ve %75'den fazlası boşluktan oluşan bir yapıya sahiptir. Schmidt ve Schwertfeger'in silika aerogellerin kullanımı üzerine yaptığı araştırmada çeşitli kalınlıklardaki silika aerogel yapılarına ait aşağıdaki ses yutum katsayıları elde edilmiştir (1998).



Şekil 1.25: Silika aerogelin frekansa göre ses yutum katsayısı performansı grafiği.

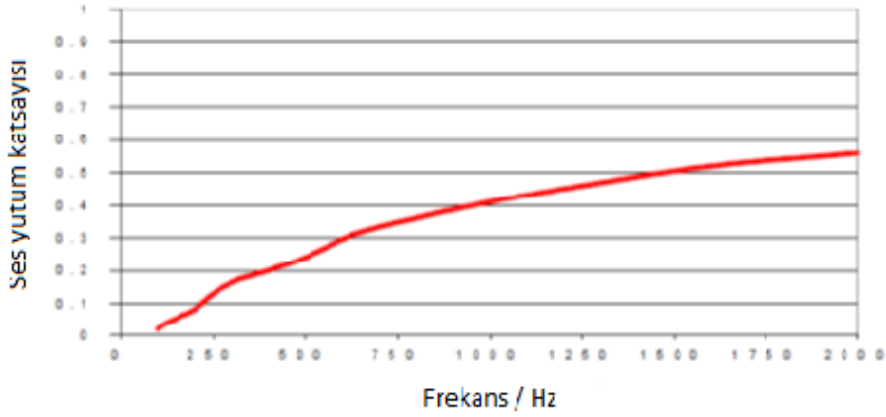
Poroz yapılı beton bariyerler de ulaşım kaynaklı gürültü ile mücadelede etkin olarak uzun zamandır kullanılmaktadır. Kanada'nın Ontario Eyaleti İletişim ve Ulaştırma Bakanlığı Ar-Ge Birimi tarafından çimento ve beton esaslı malzeme yapılarının akustik özelliklerinin geliştirilmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır (Hajek, 1984). Bu çalışmada iki tip malzeme kullanılmıştır: ilk malzeme, iki tabakalı bir yapıda olup ilk tabakada portland çimentosu ile bağlanmış odun lifleri 7,5 cm kalınlığında ses yutucu bir tabakayı oluşturmaktadır. 1,9 cm lik ikinci tabaka ise yüksek yoğunluklu betonarme bir tabakadır. İkinci malzeme ise tek tabakalı homojen karışımlı yaklaşık %20 poroziteye sahip bir beton plakadan oluşmaktadır. Bu malzemeler hem empedans tüpü hem de yankı odasında ses yutum ölçümlerine tabi tutulmuştur. Çınlanım odasında ölçümlerde ise 4,5 m² lik deney numuneleri hem yatay hem de dikey olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak ilk malzemenin hem yankı odası ölçümlerinde hem de empedans tüpü ölçümlerinde benzer davranış gösterdiği ve NRC değerinin yaklaşık 0,45'e ulaştığı görülmektedir. Tek tabaka poroz betonun yankı odası ve empedans tüpü ölçüm sonuçları birbirinden farklılık göstermektedir. Hatta numunenin yankı odasındaki yatay veya dikey yerleşimi de kendi içinde farklı sonuçlar doğurmaktadır. Elde edilen NRC değerleri ise empedans tüpü için 0,25 düzeyinde iken çınlanım odasında yatay pozisyonda 0,45, dikey pozisyonda 0,3 civarındadır. Malzemelerde bazı akustik değişikliklerin etkisini görmek üzere, yutucu tabaka kalınlığının

değiştirilmesi, poroz yapılı malzeme kompozisyonunun değiştirilmesi, hermholtz ve t p rezonans boşlukları uygulanması, tek tabakalı poroz betona rijit bir arkalık konulması gibi malzemelerin fiziksel yapısında bazı değişiklikler yapılarak empedans tüpü ölçümlerine tabi tutulmuşlardır. Araştırma sonucunda %20-30 aralığındaki porozite değişiminin doğrudan ses yutum özelliklerine etkisinin gözlenmediği, rezonans boşluklarının önemli katkı sağladığı ancak malzemenin durabilite özelliklerine etkisinin de araştırılması gerektiği, iki tabakalı malzemedeki ilk ses yutucu tabaka için optimum kalınlığın 5 cm seçilmesinin uygun olacağına varılmıştır.

Betonun durabilitesi ve yutuculuk özelliği kazanmış hali ile geri dönüşümden elde edilen agreganın da kullanılması ile gürültü bariyerlerinin inşasında sürdürülebilirlik sağlanmaktadır. Krezel ve McManus poroz yapılı geri kazanılmış agregadan üretilmiş beton gürültü bariyeri üzerinde, çınlanım odasında ISO 354 standardına göre yaptıkları ses yutum katsayısı ölçümlerine göre 150 mm kalınlığındaki bir prototip bariyerden NRC 0,25 değerini elde etmişlerdir (2003). Normal bir beton gürültü bariyerinin ses yutum değeri ise NRC 0,01'dir. Avustralya'da 55 mm'de NRC 0,85 ve 75 mm'de NRC 0,95 değerini sağlayabilen firmalar da bulunmaktadır (Url-1).

İnşaatta geri dönüşümlü malzemelerin kullanılması sürdürülebilirlik açısından günümüzde önem kazanmaktadır. Geri dönüştürülmüş agregadan imal edilen beton ile üretilmiş gürültü bariyerleri de son zamanlarda yeni çalışma alanları arasında yer almaktadır.

Swinburne University of Technology'den Krazel ve McManus, yaptıkları çalışma ile geri dönüşümlü betondan (RAC) imal edilmiş bir ses yutucu gürültü bariyerinin fiziksel ve akustik özelliklerini incelemişlerdir (2002). Tasarlanan duvar üzerindeki 70 mm kalınlığındaki ses yutucu katman empedans tüpünde 0,50 NRC değerini vermiştir.  ınlanım odası ölçümünde elde edilen grafik ise şekil 1.26'daki gibidir.



Şekil 1.26: Geri dönüşümlü betonun çınlanım odası metoduna göre ses yutum katsayısı performansı grafiği.

Buna grafiğe göre çınlanım odasında elde edilen NRC değeri yaklaşık 0,35 dir. Bu değer 0,5 civarında olması beklenirken, beklenenden düşük olmasının nedeni olarak beton üretimin profesyonel bir şekilde gerçekleştirilememesi ve uygulamada homojen kalınlıkta bir poroz tabakanın oluşturulamaması gösterilmiştir.

Başka bir çalışmanın konusu ise kullanılmış araç lastiklerinin geri dönüştürülmesi sonucu elde edilen parçacıkların gürültü bariyerinde kullanılmasıdır. Zhu ve Carlston eski lastiklerin parçalanması sonucu elde edilen kauçuk parçacıkların trafik gürültüsünü önlemede kullanılmasını incelemişlerdir (2001). Çalışmada akrilik esaslı bir yapıştırıcı ve çeşitli eleklerden elenmiş farklı boyuttaki kauçuk parçacıklarından (0,25-4,00 mm) elde edilen karışım bir plaka haline getirilmiştir. Ağırlıkça 0,8 birim kauçuk karışımı ve 1,0 birim yapıştırıcıdan oluşturulan yaklaşık 122x122 cm ebatlı ve 2,5 cm kalınlığındaki 4 kauçuk levha ASTM C423-90a standardına göre ses absorpsiyon testine tabi tutulmuş ve yaklaşık 0,4 NRC değeri elde edilmiştir.

Watts ve Godfrey (1999) yaptıkları çalışmada gürültü bariyerlerindeki ses yutucu malzemelerin yol tarafındaki gürültü düzeylerine etkilerini araştırmışlardır. Bu araştırmada yol tarafında oluşan gürültünün büyüklüğünün ses yutucu bariyerler sayesinde ne kadar azaltıldığı ve kaynak bölge olan yol tarafındaki gürültünün sağlanmasındaki bariyer konum ve yükseklikleri de incelenmiştir. Seçilen çalışma alanındaki 3,7 m yüksekliğindeki paralel bariyerler arası mesafe 34 m olduğundan yüzeyin ses yutucu veya yansıtıcı özellikte olmasının yol tarafında önemli bir etkiye (fark 1 dB'den küçük) sahip olmamıştır.

Menge ve Barrett (2011) ise yaptıkları çalışma ile yansıma kaynaklı gürültü seviyesindeki 3 dB'den az artışların ne kadar önemli olduğunu ortaya koymuşlardır.

Çalışmada uzun süreli gürültüye maruz kalma durumunda küçük değişimlerin kolaylıkla fark edildiği, yansımadan kaynaklanan baskın frekansın kaymasından kaynaklanan 0,1 dB'lik değişimin fark edilebilir olduğu ve yansıma nedeni ile oluşan yeni gürültü iletim güzergahlarının alıcıda oluşturacağı algıyı, örneğin bir kamyonun geçişindeki oluşan sesin önceki ile aynı olmaması gibi, değiştirebileceği belirtilmektedir. Ayrıca ses yutucu özellikteki bariyerlerin alıcı psikolojisinde olumlu etki oluşturarak algısının değişmesinde de faydalı olduğu belirtilmektedir.

Yapılan birçok çalışma sadece iki deney metodu üzerinden gerçekleştirilmektedir: çınlanım odası ölçümü ve empedans tüpü ölçümü. Empedans tüpleri daha çok ar-ge amaçlı kullanılmakta olup malzemenin akustik özelliklerinin geliştirilmesinde üreticilere önemli bir fikir vermektedir. Bunun nedeni empedans tüpü ölçümleri için gerekli numune boyutunun küçük olması ve hızlı deney sonucu elde edilebilmesidir. Ölçüm cihaz setinin çınlanım odasına göre yatırım maliyetinin çok daha düşük olması ve test maliyetinin de düşük olması empedans tüplerinin akustik ölçümlerde daha yaygın kullanılmasını sağlamaktadır. Çınlanım odaları hem büyük yatırım gerektirmesi, hem büyük deney numunelerinin hazırlanmasını gerektirmesi, hem de test hizmetinin empedans tüpü ölçümlerine göre daha pahalı olmasından dolayı daha az kullanılmaktadır. Ancak empedans tüpleri ile geliştirilen deney numunelerinin gerçek performansı çınlanım odalarında ölçülmektedir. Empedans tüpündeki yönlü ses yerine dağınık ses karşısındaki yutum karakteristiği daha gerekçi sonuçlar vermektedir. Bu iki sonuçlar arasındaki korelasyonun kurulması yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Avustralya'da yapılan bir araştırma ile poroz yapılı polyester bir ürüne ait ISO 354 çınlanım odasındaki ses yutum katsayısı ölçüm sonuçları ile ISO 10534-2 empedans tüpündeki ses yutum katsayısı ölçüm sonuçları arasında malzeme özelliklerine bağlı ampirik bir bağıntı kurulmuş ve iki ölçüm metodu sonuçları arasında 0,9556 gibi bir uyum iyiliği (R^2) değeri elde edilmiştir (McGrory, Cirac, Gaussen, & Cabrera, 2012).

Gürültü bariyerleri ile ilgili Avrupa'da yapılan en son ve en kapsamlı çalışma ise Avrupa Birliği 7. Çerçeve Programı kapsamında yürütülen 1 Kasım 2009'da başlatılıp Aralık 2012'de bitirilen ve Ir. Jean-Pierre Clairbois koordinasyonunda yürütülen bir çalışmadır (Clairbois, ve diğerleri, 2012). Bu çalışma ile sadece gürültü bariyerleri değil Avrupa pazarında bulunan 400 farklı gürültü önleyici cihaz (Noise Reducing

Devices) incelenerek akustik ve akustik olmayan özellikler ile sürdürülebilirlik, dayanım, tasarım vb hususlar açısından optimum bir çözüm bulunulmaya çalışılmıştır.

1.3 Hipotez

Patlatılmış perlitten yapılabilecek kaplama tarzı ürünler iyi bir akustik yutuculuğa sahiptir. Özellikle boşluklu yapısı ve düşük yoğunluğu sebebi ile patlatılmış perlitin Türkiye’de ısı yalıtım sıva kaplaması olarak yaygın kullanılması bunu destekleyen en önemli dayanaklardan biridir. Bu çalışmada poroz yapılı doğal kaynaklardan olan perlit kullanılarak beton gürültü bariyerlerinin akustik ses yutuculuk performansının artırılmasına yönelik bir çalışma yürütülmüştür.

Patlatılmış perlitin yapı elemanı olarak ısı yalıtımı amaçlı kullanılması, ancak akustik yutuculuk özelliğinin daha önce kullanılmaması bu çalışmaya başlamada belirleyici unsur olmuştur. Bu çalışmada hem perlitin kendi boşluğunun hem de yapılan işlemlerden sonra elde edilen boşluklu yapının ses yutuculuk anlamında yeterli bir performans göstererek bir gürültü önlemi olarak kullanılması planlanmıştır.

Isı yalıtımında kullanılan ürünlerin çoğunun gürültü problemlerinde de belirli şekillerde çözüm olarak sunuluyor ve kullanılıyor olması özellikle bu çalışmaya başlanmasında rol oynamıştır. Perlitin seçilmesinde “neden oluşturulacak perlit kaplamalı yapı ile ses yutuculuk anlamında yansıtıcı özellikteki beton gürültü bariyerlerine katkı sağlanmasın?” sorusunun cevabı araştırılmıştır.

2. PERLİTLİ KAPLAMA MALZEMESİ TASARIMI

Patlatılmış perlit yapı itibari ile içerisindeki su buharının yüksek sıcaklıkta genleşmesinden dolayı boşluklu bir yapıdadır. Bu boşluklu yapının oluşumunun geri dönüşü mümkün değildir. Ancak genleşmiş perlit yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında sertleşerek camsı bir yapı almakta ancak boşluklu yapısını kaybetmemektedir. Genleşmiş perlitin bu özelliğini dikkate alarak farklı elek aralıklarında oluşturulmuş perlit gruplarından kaplama malzemesi elde edilmiştir. Bu bölümde kaplama malzemesinin elde edilme yolu anlatılmaktadır.

2.1 Malzeme Tasarımı ve Kaplama Malzemesi Yapılışı

Üretici firmadan sağlanan patlamış perlit piyasaya iki elek grubunu şeklinde sunulmaktadır:

* 0,85 - 3,15 mm arası (No:251)

* 0,85 – 2,36 mm arası (No:126)

Piyasaya sunulan bu iki perlit grubu birleştirilerek homojen bir karışım elde edilmiş ve ince-kaba dane dağılımını temsil edecek iki elek grubu oluşturulmuştur:

* 0,85 – 2,36 mm arası

* 2,36 – 3,15 mm arası

İlk elek grubu ince dane grubu olarak ikinci elek grubu ise kaba dane grubu olarak verilmektedir. Kaba dane grubu gürültüye maruz kalacak ilk tabakayı, ikinci sıradaki ince dane grubu alt tabaka ise yüksek frekansları sönümlemesi planlanmak üzere tasarlanmıştır. En alt tabaka ise beton yüzeyi ile geliştirilen perlit tabakasını birbirine bağlayacak olan perlitli sıvadan elde edilmiştir.

Patlamış perlitin kalıplanmasında ise 1260°C'ye dayanıklı, erime noktası 1732°C olan Nutec Fibratec markalı seramik kâğıt kullanılmıştır. Seramik kâğıdın en önemli özelliği kesimi, katlanması gibi şekil verilebilirliğinin kolay olması ve yüksek sıcaklık yanı sıra aleve karşı dirençli olmasıdır. Kullanılan seramik kâğıdın yoğunluğu 185 kg/m³ ve kalınlığı 6,35 mm dir. 1000x1220mm ebatlı plaka halinde piyasada bulunmaktadır. Seramik kâğıdın kimyasal bileşimi ise şu şekildedir:

Al_2O_3	%47
SiO_2	%53

Empedans tüpü için 100 mm ve 28 mm çaplı ses yutum katsayısı ölçüm deney numunelerinin hazırlanmasında deney numunelerindeki yüksek sıcaklıktan dolayı meydana gelen kısmen düzensiz yanal ve dikey büzülme etkisi göz önüne alınarak yaklaşık 110 mm ve 32 mm çaplı 70 mm boyunda kalıplar hazırlanmıştır (Şekil 2.1).

Empedans tüpü ölçümleri için gerekli olan numune boyutlarını elde etmek üzere, bu çalışmadan önce patlamış perlitin büzülme değerleri deneme yanılma yöntemi ile ölçülmeye çalışılmış ve yukarıda verilen kalıp ölçülerinin uygun olduğu görülmüştür.

Perlitin seramik kağıt kalıplara yapışmasını önlemek amacı ile kalıp iç yüzeyleri toz haldeki magnezyum oksit (MgO) ile kaplanmıştır.



Şekil 2.1: Nutec Fibratex markalı seramik kağıttan kalıp oluşturulması.

Farklı frekans bantlarını sönümleyebilmek amacı ile iki farklı perlit tabakası oluşturulmak istenmiştir. Bu nedenle hacimsel olarak büzülme de göz önüne alarak 0,85 mm üzeri elekten kalan perlitten hacimsel olarak %57, 2,36 mm elek üzerinde kalan perlitten hacimsel olarak %43 alınarak iki tabakalı ham yapı oluşturulmuştur.

70 mm derinliğindeki seramik kağıt kalıbın 40 mm lik kısmı 0,85 mm lik elek üzerinde kalan patlamış perlit ile doldurulmuştur. Bu bölüm yaklaşık 100 gr ağırlığındadır. Kalan 30 mm lik kısım ise 2,36 mm lik elek üzerinde kalan patlamış perlit ile doldurulmuştur. Bu bölüm ise yaklaşık 50 gr ağırlığındadır. Karışımın bu haldeki gevşek yığın yoğunluğu yaklaşık 225 kg/m^3 tür (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Tabakalı perlit oluşturulması.

Perlitli sıvayı camsı hale getirmek için ise yüksek sıcaklıklara ulaşabilen Protherm markalı elektrikli kül fırını kullanılmıştır. Kül fırınında seçilen sıcaklık ise 1200°C dir. Perlit 1200°C'ye set edilmiş kül fırınına yerleştirildikten sonra süre 5 dakikaya ayarlanarak perlitin camsılaşması için gerekli süre sağlanmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Perlitin kül fırınına yerleştirilmesi.

Bu süre sonunda kalıp kül fırınından uzaklaştırılarak hava akımı olmayan 23°C'deki laboratuvarında kendi halinde soğutulmaya bırakılmıştır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Kalıbın kül fırınından çıkarılışı ve soğutulması.

Kül fırınından çıkarılan numuneler soğumaya bırakıldıktan sonra meydana gelen büzülme derinlik olarak %50'ye varmaktadır (Şekil 2.5, Şekil 2.6 ve Çizelge 2.1).



Şekil 2.5: Yüksek sıcaklık ve soğuma sonrası büzülme.

Çizelge 2.1: Yapılan Isıtma-Soğutma İşlemi Sonrası Kalınlık Değişim Tablosu.

Tabaka	Fırın İşlemi öncesi ortalama kalınlık (mm)	Soğuma sonrası ortalama nihai kalınlık (mm)
0,85 mm üstü perlit tabakası	40 mm	22,5 mm
2,36 mm üstü perlit tabakası	30 mm	13,5 mm
TOPLAM	70 mm	36,0 mm



Şekil 2.6: Deney numunesi kalınlık ölçümü.

2.2 Deney Numunesinin Fiziksel Özellikleri

Deney numunesi iki ana parçadan oluşmaktadır. İlk parça ses yutumu özelliği olan ve ısıtma işlemi sonrası üretilen perlitli tabaka, diğer parça ise bu perlitli tabakayı beton duvara bağlayan perlitli sıva tabakasıdır. Bu sıva tabakasının perlitli sıvadan seçilmesindeki amaç perlitten imal edilen hafif sıvaların mevcut yapıya ayrı bir yük getirmemesinin istenmesidir.

Perlitli plakanın beton alt zemine yapıştırılmasında kullanılan perlitli sıva tabakasına ait fiziksel özelliklerin belirlenmesi amacı ile yapılan, Türkiye’de geçerli olan sıvalara ait TS EN 998-1: Temmuz 2011 Kâğıt Harcı – Özellikler – Bölüm 1: Kaba ve İnce Sıva Harcı standardında geçen deneyler gerçekleştirilmiştir.

Perlitli sıva su karışım oranı %125 olup hazırlanan numuneler ilgili standarda göre 2 gün kalıp içerisinde iken %95 bağıl nem ortamında bekletilmiş, daha sonra kalıptan çıkarılarak 5 gün daha %95 bağıl nemde kürlenmeye devam etmiştir (Şekil 2.7). Günün sonunda ise numuneler $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ve 50 ± 5 RH standart laboratuvar ortamında

28. güne kadar şartlandırmaya devam edilmişlerdir. 28. Günün sonunda ilgili metot standardına göre deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 2.2, Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4’te verilmiştir:



Şekil 2.7: Bazı deney ve numunelere ait fotoğraflar.

Çizelge 2.2: Perlitli sıva tabakasına ait deney sonuçları tablosu.

Deney Adı ve Standart Numarası	Numune I	Numune II	Numune III	Ortalama
TS EN 1015-11 Basınç Dayanımı	0,33 N/mm ²	0,35 N/mm ²	0,32 N/mm ²	0,33 N/mm ²
TS EN 1015-12 Bağ Dayanımı	0,12 N/mm ²	0,15 N/mm ²	0,12 N/mm ²	0,13 N/mm ²
TS EN 1015-18 Kapiler Su Emme	0,21 kg/m ² .dk ^{0,5}	0,15 kg/m ² .dk ^{0,5}	0,19 kg/m ² .dk ^{0,5}	0,18 kg/m ² .dk ^{0,5}
TS EN 1015-19 Su Buharı Geçirgenliği KNO ₃ – Üst Rutubet Sınırı	μ= 4,28	μ= 5,25	μ=5,25	μ= 4,92
TS EN 1015-19 Su Buharı Geçirgenliği LiCl – Alt Rutubet Sınırı	μ=4,50	μ= 4,96	μ=4,96	μ= 4,81
TS EN 1015-10 Kuru Birim Hacim Ağırlığı	262 kg/m ³	268 kg/m ³	265 kg/m ³	262 kg/m ³

Perlitli kaplama tabakasına ait ulusal veya uluslararası bir standart bulunmadığından dolayı bu kaplamanın son kullanıma ait bazı önemli fiziksel özelliklerini bulmak üzere aşağıdaki sonuçların elde edildiği deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2.3: Tek Tabakalı perlitli kaplama tabakasına ait deney sonuçları tablosu.

Deney Adı ve Standart Numarası	Numune I	Numune II	Numune III	Ortalama
TS EN 1015-11 Basınç Dayanımı	0,11 N/mm ²	0,12 N/mm ²	0,12 N/mm ²	0,12 N/mm ²
TS EN 1015-12 Bağ Dayanımı (1 cm kalınlığında perlitli sıva ile birlikte)*	0,12 N/mm ²	0,12 N/mm ²	0,13 N/mm ²	0,12 N/mm ²
TS EN 1015-10 Kuru Birim Hacim Ağırlığı	350 kg/m ³	348 kg/m ³	355 kg/m ³	351 kg/m ³

* kopmalar perlitli sıva ile perlit kaplama tabakaları arasından meydana gelmiştir.

Çizelge 2.4: İki tabakalı perlitli kaplama tabakasına ait deney sonuçları tablosu.

Deney Adı ve Standart Numarası	Numune I	Numune II	Numune III	Ortalama
TS EN 1015-11 Basınç Dayanımı	0,16 N/mm ²	0,18 N/mm ²	0,20 N/mm ²	0,18 N/mm ²
TS EN 1015-12 Bağ Dayanımı (1 cm kalınlığında perlitli sıva ile birlikte)*	0,12 N/mm ²	0,14 N/mm ²	0,12 N/mm ²	0,13 N/mm ²
TS EN 1015-10 Kuru Birim Hacim Ağırlığı	400 kg/m ³	398 kg/m ³	415 kg/m ³	405 kg/m ³

* kopmalar perlitli sıva ile perlit kaplama tabakaları arasından meydana gelmiştir.

2.3 Deney Numunesi Akustik Özellikleri

Yapılan literatür çalışmasında, perlit ve perlit ürünlerinin akustik özelliklerine yönelik doğrudan bir akustik çalışmaya rastlanamamıştır. Bu yönü ile bu çalışma özgün bir yapıdadır.

Perlitli numunelerin üretilebilirliği boyutsal olarak kısıtlı olduğundan ölçümler sadece kül fırını ile imal edilebilecek ölçüdedir. Bu nedenle ölçümler ancak empedans tüpü ölçümleri şeklinde gerçekleştirilebilmiştir.

Ölçümler İTKIB İTA Eğitim Araştırma Danışmanlık Ltd. Şti.'nin İstanbul Halkalı'daki laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Ölçüm cihazları Brüel&Kjaer markalı PULSE yazılımını kullanan Type-7758 model empedans tüpüdür.

Ses yutma katsayısı ölçümü için Brüel&Kjaer empedans tüpünün ses yutma katsayısı ölçümü için gerekli aparat ve cihazları kullanılmıştır. Tüp genel olarak, geniş bant akustik düzlemsel dalgalar yaratan bir ses kaynağı, 2 adet mikrofon taşıyan ölçüm odası ve test örneği taşıyıcısından oluşmaktadır. Numuneler numune taşıyıcıya yerleştirilirken numunelerin kırılğan yapısından dolayı tam olarak dairesel şekil alamadığı durumlarda, oluşan boşluklar oyun hamuru ile doldurulmuştur (Şekil 2.8).

Yapılan ölçümlerde 2 mikrofondan elde edilen ölçümler “FFT Transfer Fonksiyonu” yöntemi kullanılarak test malzemesinin yansıtma ve yutma katsayıları hesaplanmaktadır. Bu değerlerin hepsi 1/3 oktav bandı frekanslarında ölçülmüş olup ses yutma katsayısı, 100 Hz ile 6300 Hz arasında sayısal tablo ve grafik halinde raporlanmıştır.



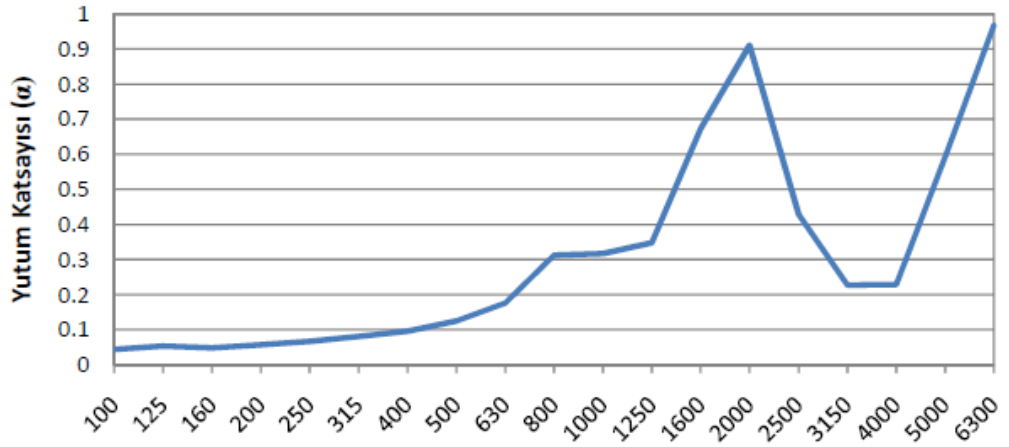
Şekil 2.8: İlk deney numunesi örneği.

İlk deney numunesinin akustik ölçümleri için ilk olarak 0,85 mm ve 2,36 mm elek üzerinde kalan perlit gruplarından fabrika çıkışı hazır satışta olan No:126 (0,85–2,36mm elekler arası) patlamış perlit grubundan örnek teşkil şeklinde bir karışım sağlanarak deney numunesi oluşturulmuştur. Bu deney numunesinde herhangi bir tabakalı yapı oluşturulmamıştır. Deney numunelerinin kalınlık ölçümleri şu şekildedir (Çizelge 2.5):

Çizelge 2.5: 1. Grup perlitli kaplama tabakasına ait kalınlık ölçüm tablosu.

Özellik	Numune I	Numune II	Numune III	Ortalama
Kalınlık	36 mm	35 mm	34 mm	35 mm

İlk deney grubu numunesinin ses yutum katsayısı ölçümüne ait deney sonuçlarından elde edilen empedans tüpü 1/3 oktav bandı ses yutum katsayısı – frekans grafiği Şekil 2.9’da ve frekansa karşılık ses yutum katsayısı değerleri Çizelge 2.6’da verilmektedir:



Şekil 2.9: İlk deney grubuna ait ses yutum katsayısı - frekans eğrisi.

Çizelge 2.6: İlk ölçüm grubu frekans-ses yutum katsayısı ölçüm tablosu.

Frekans (Hz)	Ses Yutum Katsayısı(α)
100	0,044
125	0,054
160	0,048
200	0,057
250	0,067
315	0,081
400	0,096
500	0,125
630	0,176
800	0,313
1000	0,317
1250	0,348
1600	0,673
2000	0,911
2500	0,429
3150	0,227
4000	0,229
5000	0,593
6300	0,969

İlk numune grubu üzerinde gerçekleştirilen ses yutum katsayısı ölçümünden elde edilen sonuçlara göre ilk deney numunesinden 0,36 NRC değeri elde edilmiştir. TS EN 1793-1'e göre işlem yapıldığında ise DL_{α} değeri 4,69 dB çıkmakta ve deney numunesi A2 sınıfı olarak sınıflandırılmaktadır.

İkinci deney numune grubunun oluşturulmasında ise malzeme tasarımı bölümünde belirtildiği şekilde hacimce %40-%60 şeklinde iki tabakalı numuneler hazırlanmıştır. Deney numunelerinin kalınlık ölçümleri şu şekildedir (Çizelge 2.7 ve Şekil 2.10):

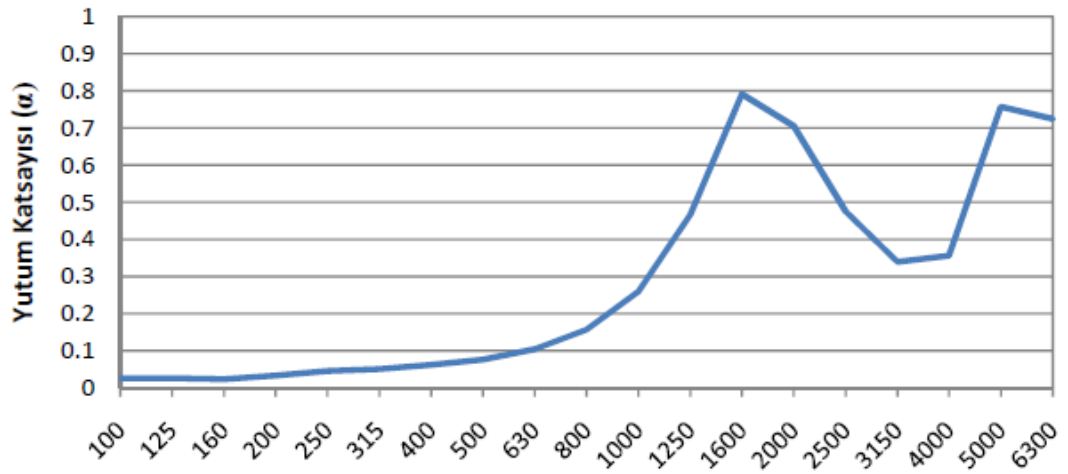
Çizelge 2.7: 2. Grup perlitli kaplama tabakasına ait kalınlık ölçüm tablosu.

Özellik	Numune I	Numune II	Numune III	Ortalama
Toplam Kalınlık	36 mm	37 mm	37 mm	37 mm
İnce Tabaka	22,5 mm	22 mm	21,5 mm	22 mm
Kalın Tabaka	13,5 mm	15 mm	15,5 mm	15 mm



Şekil 2.10: İki tabakalı deney numunesi örneği.

İkinci deney grubu numunesinin ses yutum katsayısı ölçümüne ait deney sonuçlarından elde edilen empedans tüpü 1/3 oktav bandı ses yutum katsayısı – frekans grafiği aşağıda verilmektedir (Şekil 2.11 ve Çizelge 2.8):



Şekil 2.11: İkinci deney grubuna ait ses yutum katsayısı - frekans eğrisi.

Çizelge 2.8: İkinci ölçüm grubu frekans-ses yutum katsayısı ölçüm tablosu.

Frekans (Hz)	Ses Yutum Katsayısı(α)
100	0,027
125	0,027
160	0,024
200	0,034
250	0,046
315	0,051
400	0,063
500	0,077
630	0,105
800	0,157
1000	0,260
1250	0,467
1600	0,791
2000	0,705
2500	0,475
3150	0,340
4000	0,356
5000	0,756
6300	0,027

İkinci numune grubu üzerinde gerçekleştirilen ses yutum katsayısı ölçümünden elde edilen sonuçlara göre ikinci deney numunesinden 0,27 NRC değeri elde edilmiştir.

EN 1793-1'e göre işlem yapıldığında ise DL_α değeri 4,95 dB olarak çıkmakta ve deney numunesi A2 sınıfı olarak sınıflandırılmaktadır.

2.4 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Her iki deney grubu da yaklaşık olarak aynı kalınlıkta hazırlanmıştır ve sadece tabakalı yapılanmaları yönü ile birbirinden farklıdır. Kullanılan perlit üretim partileri aynı olup yapısal olarak birbirinden farklı değildir.

Yapılan fiziksel deneylere ait sonuçlarda tasarlanan perlitli plakaların yapısal özelliklerinin önemli ölçüde farklı olmamasından dolayı büyük farklılıklar gözlenmemektedir (Çizelge 2.9). Özellikle ikinci deney numunesi grubundaki alt ince tabakanın genel yoğunluğu 350 kg/m^3 'ten 400 kg/m^3 'e arttırmasından dolayı ikinci deney grubunda basınç dayanımında $0,12 \text{ MPa}$ 'dan $0,18 \text{ MPa}$ 'a artış gözlenmiştir. Beton yüzeye yapılan ve tasarlanan perlitli tabakayı beton plakaya bağlayan sıva tabakasının her iki deney grubunda da aynı olmasından dolayı, tasarlanan her iki perlit

kaplama tabakasının alt tabakaya yapışma mukavemetleri birbirine oldukça yakındır. Çimento esaslı farklı yapıştırıcılar kullanılarak beton yüzeye yapışma mukavemetleri 0,12MPa'dan yukarılara doğru çekilebilir, ancak perlitli sıvaların düşük yoğunluğunun getirdiği daha az yük getirme avantajının uygulanan projede önem arz etmemesi gerekir.

Çizelge 2.9: Fiziksel deneylerin ölçüm sonuçları karşılaştırma tablosu.

Deney Adı ve Standart Numarası	I. Numune Grubu	II. Numune Grubu	Değişim	Değişim (%)
TS EN 1015-11 Basınç Dayanımı	0,12 N/mm ²	0,18 N/mm ²	0,06 N/mm ²	%50
TS EN 1015-12 Bağ Dayanımı (1 cm kalınlığında perlitli sıva ile birlikte)*	0,12 N/mm ²	0,13 N/mm ²	0,01 N/mm ²	%8
TS EN 1015-10 Kuru Birim Hacim Ağırlığı	351 kg/m ³	405 kg/m ³	54 kg/m ³	%15
* kopmalar perlitli sıva ile perlit kaplama tabakaları arasından meydana gelmiştir.				

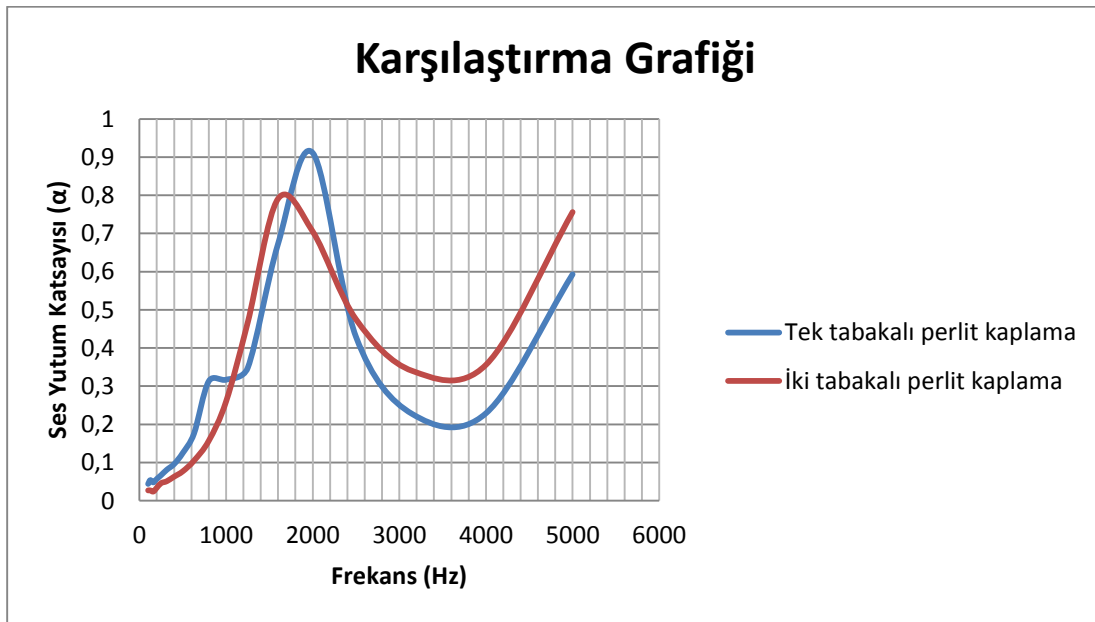
Yapılan akustik ölçümler ile tabakalı yapıdaki 2. grup deney numunelerinde kullanılan ince granüllü patlamış perlit numunesinin, beklenildiği üzere 1250 Hz ve üzerindeki yüksek frekanslarda malzemenin ses yutum özelliğini önemli ölçüde geliştirdiği ancak orta ve düşük frekanslarda ise mevcut ses yutum performansını azalttığı görülmektedir.

NRC ölçüm hesabında kullanılan frekansların ortalaması dikkate alındığında bu durum açıkça ortaya çıkmaktadır. Nitekim ilk numune grubunun NRC değeri 0,36 iken ikinci numune grubunun NRC değeri 0,27 olarak ölçülmüştür.

TS EN 1793-1'e göre değerlendirme yapıldığında DLa değeri tek tabakalı deney numunesi grubu için 4,69 dB çıkarken iki tabakalı deney numunesi grubunda bu değer 4,95 dB olarak ölçülmüştür. TS EN 1793-1'de NRC'den farklı olarak 1/3 oktav bantlarının tüm frekanslarındaki ses yutum katsayıları dikkate alındığı için iki tabakalı deney numunesinin akustik performansı daha iyi sonuçlanmıştır. Her iki deney grubu numunesi de ilgili standarda göre A2 sınıfında yer almaktadır (Çizelge 2.10 ve Şekil 2.12).

Çizelge 2.10: Akustik deneylerin ölçüm sonuçları karşılaştırma tablosu.

Frekans (Hz)	Ses Yutum Katsayısı(α) Tek Tabakalı	Ses Yutum Katsayısı(α) Çift Tabakalı	Frekans Aralığı
100	0,044	0,027	Düşük
125	0,054	0,027	
160	0,048	0,024	
200	0,057	0,034	
250	0,067	0,046	
315	0,081	0,051	Orta
400	0,096	0,063	
500	0,125	0,077	
630	0,176	0,105	
800	0,313	0,157	
1000	0,317	0,260	Yüksek
1250	0,348	0,467	
1600	0,673	0,791	
2000	0,911	0,705	
2500	0,429	0,475	
3150	0,227	0,340	
4000	0,229	0,356	
5000	0,593	0,756	
6300	0,969	0,027	
NRC	0,36	0,27	
DL _a	4,69 dB (A2)	4,95 dB (A2)	



Şekil 2.12: Ölçüm sonuçları karşılaştırma grafiği.

3. BİLGİSAYARLI MODELLEME İLE PERLİT KAPLAMALI BETONARME GÜRÜLTÜ BARIYERİ ÇALIŞMASI

Bu bölümde bilgisayar desteği ile örnek bir alan çalışması yapılarak tasarlanan perlitli kaplamanın akustik performansı değerlendirilecektir. Aynı zamanda kullanılan yazılım, model tabanı ve Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Denetimi Yönetmeliği ile ilgili inceleme gerçekleştirilecektir.

3.1 Mevcut Bilgisayar Modelleme Yazılımları ve Özellikleri

Bilgisayar ve coğrafi bilgi sistemleri (GIS) teknolojilerinin gelişmesi ile şehir planlama ve şehirleri izleme konusunda oldukça fazla sayıda yazılım üretilmiştir. Özellikle çok hızlı işlem yapabilen bilgisayarlar yardımı ile kısa sürede istenilen çözümlere ulaşılabilmesi mümkün hale gelmiştir. Özellikle modernleşme ile artan gürültü kaynaklarının, muhtemel etkilerinin ve alınabilecek önlemlerin modellenmesi de bu yazılımlar yardımı ile mümkün hale gelmiştir. Günümüzde oldukça fazla sayıda, doğrulaması gerçekleştirmiş ve dünyada kabul görmüş gürültü haritalama yazılımı bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak CadnaA, Soundplan, Lima, Stamina, TNM, Stamson, Ornament, Mithra yazılımları verilebilir. Her modelleme yazılımı içerisinde kullandığı kabul görmüş algoritmalar, standartlar ve rehber dökümanlar kullanmaktadır. Bu kaynaklar genellikle her ülkenin kendi geliştirdiği, örnekleme ve ölçümlere dayalı standart veya rehber şeklinde yayımlanan akustik modellerdir.

Aşağıda bazı modeller ve modele kaynak teşkil eden ülke örnek olarak verilmiştir:

- FHWA TNM ve FHWA-RD-77-108 (Amerika),
- VBUS, RLS90, Schall 03 ve DIN 18005 (Almanya)
- ONR 305011 ve RVS 4.02 (Avusturya)
- NMPB-Routes-96, NMPB Fer (Fransa)
- STL86 ve Semibel (İsviçre)

- Nordic Prediction Method (İskandinav Ülkeleri)
- CRTN, CRN (İngiltere)

Sesin dış ortamda yayılımı ve yutulması gibi temel özellikleri anlatan ve uluslararası bir standart olan ISO 9613 (-1 ve -2 olarak iki bölümden oluşmaktadır) standardı ise uluslararası kabul görmektedir.

Bazı Avrupa Birliği ülkelerinin kendilerine ait standart ve rehber dökümanları bulunmaktadır ancak Avrupa Birliği Komisyonu tarafından yayımlanan ve ülkemizde de Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği olarak uyumlaştırılarak kabul edilen 2002/49/CE numaralı çevresel gürültü direktifi Avrupa Birliği sınırları içerisinde geçerlidir. Bu kapsamında ISO 9613 (Endüstriyel Gürültü), NMPB-Routes-96 (Karayolu Gürültüsü) ve SRM II (Demiryolu Gürültüsü) standartları gürültü haritalamada kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Alman Datakustik firmasına ait olan CadnaA V4.1 gürültü modelleme ve haritalama yazılımı kullanılmıştır (DataKustik, 2010).

3.2 Avrupa Karayolu Gürültüsü Modeli NMPB-Routes-96

NMPB 1996 Fransızca “Nouvelle Méthode de Prévision du Bruit” kelimesinden gelmekte olup “Gürültü Tahmini İçin Yeni Bir Yöntem” olarak Türkçe’ye çevrilmiştir.

NMPB’de emisyon parametresi $L_{Aw,i}$ her oktav bant için A ağırlıklı ses gücü seviyesi olarak verilmekte olup, aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$L_{Aw,i} = 10 \cdot \log(10^{(E_{VL} + 10 \cdot \log Q_{VL})/10} + 10^{(E_{PL} + 10 \cdot \log Q_{PL})/10}) + 20dB + 10 \cdot \log l_i + R(i) \quad (3.1)$$

E_{VL} : Hafif taşıtların ses gücü seviyesi, dB(A)

Q_{VL} : Hafif taşıt (<3500 kg) sayısı, araç/saat

E_{PL} : Ağır taşıtların ses gücü seviyesi, dB(A)

Q_{PL} : Ağır taşıt (≥ 3500 kg) sayısı, araç/saat

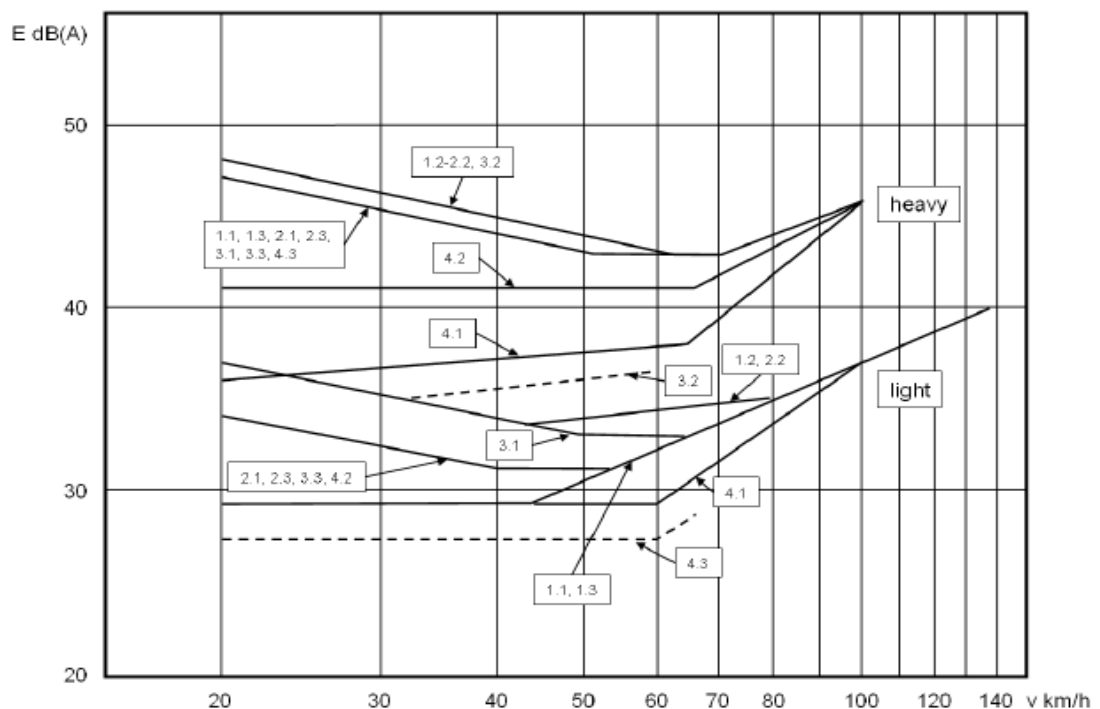
l_i : Ses kaynağının uzunluğu, m

$R(i)$: Trafik gürültüsü referans spektrumundaki oktav değeri, dB(A)

R(i) değeri Çizelge 3.1’de, yaklaşık E değeri ise Şekil 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1: Ağırlıklandırılmış spektrum için R(i) değerleri dB(A).

i	Frekans (Hz)	R(i) dBA
1	125	-14
2	250	-10
3	500	-7
4	1000	-4
5	2000	-7
6	4000	-12



Şekil 3.1: NMPB için yaklaşık E değeri diagramı.

NMPB-Routes-96’da toplam trafik akımı Q (araç/saat) ile gösterilirken bu değer toplam hafif taşıtların ve ağır taşıtların trafik akım değerlerinin toplamı olarak hesaplanır (Bağıntı 3.2). Ağır taşıt oranı $p\%$ ise ağır taşıt akım değerinin toplam akım değerine oranı olarak (Bağıntı 3.3) verilmektedir.

$$Q = Q_{VL} + Q_{PL} \quad (3.2)$$

$$p\% = \frac{Q_{PL}}{Q} \quad (3.3)$$

Daha önce verilen genel denklem araç tipi, trafik akım özelliği, yol eğimi ve yol kaplama tipine göre parametrik olarak düzenlendiğinde birim uzunluk başına düşen toplam ses gücü seviyesi şu şekilde (Bağıntı 3.4) hesaplanmaktadır:

$$L'_{Aw,i} = 10 \cdot \log(10^{(E_{VL} + 10 \cdot \log Q_{VL})/10} + 10^{(E_{PL} + 10 \cdot \log Q_{PL})/10}) + 20dB + \Psi \quad (3.4)$$

Ψ , bu denklemde belirli hız aralığı için dB cinsinden yol yüzey düzeltmesi olarak verilmektedir (Çizelge 3.2, Çizelge 3.3).

Çizelge 3.2: Hıza bağlı yol yüzey düzeltmesi (Ψ) değeri tablosu.

Yol Yüzey Tipi	Spektrum Tipi	Ψ dB cinsinden verilen hız aralıklarına göre yol yüzey düzeltmesi		
		≤ 60 km/sa	≤ 100 km/sa EC: ≤ 80 km/sa	≤ 130 km/sa
Enrobé bitüme (asphalt pavement)	1 ¹	0		
Enrobé drainant (Porous asphalt pavement - 20% porosity)	2 ²	0	0-3,5*	3,5
Chaussée cloutée (cobblestone)	1	2		
Béton lisse (smooth concrete)	1	0		
Béton strié (grooved concrete)	1	3		
Pavés en ville (concrete pavers)	1	3		
EC ³ : Porous surface	1	-1	-2	-3
EC : Smooth asphalt	1	0		
EC : Cement concrete	1	2		
EC :Smooth texture paving	1	3		
EC :Rough texture paving	1	6		
* 50 km/sa için 0 dB, 100 km/sa için 3,5 dB olup aradaki hız değerleri için lineerdir				
¹ Referans Spektrum				
² Poroz asfalt spektrumu				
³ EC: 003/613/EC sayılı 6 Ağustos 2003 tarihli Avrupa Komisyonu Tavsiyesi				

Çizelge 3.3: $\Psi=3,5$ dB(A) için poroz asfalt kaplama R(i) değeri tablosu.

i	Frekans (Hz)	R(i) dBA
1	125	0
2	250	0
3	500	0
4	1000	0,5
5	2000	5,5
6	4000	7

NMPB-Routes-96'ya göre kaynağın yol üst kotundan yüksekliği 0,5 m'dir. Yazılıma ayrıca değerler “Yıllık Ortalama Günlük Trafik – araç sayısı/24saat (YOGT)” cinsinden girilememektedir. Alman yol grütlüsü modeli RLS-90'da ise bu değer girilebilmektedir.

Hem ağır taşıtlar hem de hafif taşıtlar için en düşük ortalama trafik hızı ise 20 km/sa olarak dahil edilmektedir. Daha düşük hız veri girişinde dahi 20km/sa hız standart değeri olarak hesaba alınmaktadır. Maksimum hız limiti hafif taşıtlar için 140km/sa ve ağır taşıtlar için 100 km/sa olmakla birlikte daha büyük hız değerleri hesaplamalarda girilen değer olarak kullanılmaktadır.

NMPB-Routes-96 modeline göre yol yüzey kaplama özelliklerine göre referans trafik yol gürültü spektrumunda meydana gelecek değişiklikler tanımlanmıştır. Buna göre seçilen yol kaplama tipine göre belirli hız aralıkları için yol kaplamasından kaynaklanan düzeltme değeri Ψ kullanılmaktadır.

3.3 Datakustik CadnaA ile Tasarım

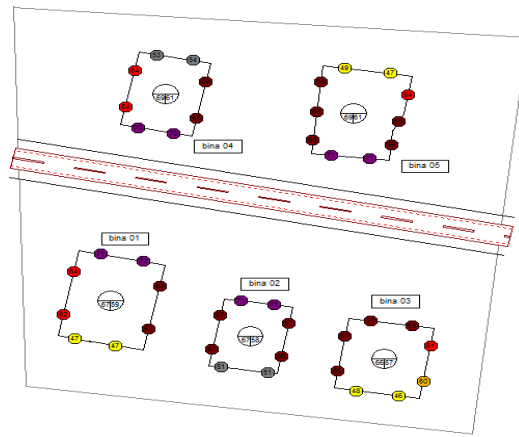
CadnaA ile yapılan çalışmada sadece gürültü bariyerinin farklı yükseklik ve yutuculuk değerlerindeki etkinliğini gösterebilmek için trafik özellikleri, atmosferik şartlar, yol-bariyer arasındaki mesafe ve topoğrafik şartlar sabit tutulmuştur. Bariyer yüksekliği ve bariyer yutuculuğu ile bariyer üst şekli değişken olarak ele alınmıştır.

Çalışmada yapılan kabuller aşağıda verilmektedir;

- Konum olarak gerçek bir alan seçilmemiş olup farklı yükseklikteki ve yola farklı mesafedeki binalar ile topoğrafik olarak eş düzeyli bir alan seçiminde bulunulmuştur. Ayrıca rüzgar etkisi ile akustik bir yönelim gerçekleşmediği sesin normal atmosferik şartlar altında yayıldığı varsayılarak gerekli hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

- Bariyer konumlamasında bariyerin kaynağa yakın olması bariyerin etkinliğini arttırmaktadır. Burada ise yerel yönetimin İstanbul genelindeki gürültü bariyeri uygulama yaklaşımı olan muhtemel bir ek şerit için 4 m mesafe bırakılması esasına dayalı olarak gürültü bariyerleri yol kenarlarından her iki yanda 4 m mesafede konumlanmıştır.
- Seçilen küçük alan içerisinde farklı yüksekliklerde 5 adet bina konumlanmıştır. Tüm bina cepheleri yüksek ses yansıtıcı özellikteki giydirme cephe olarak düşünüldüğünden yansıma sayısı 3 olarak programa girilmiştir.

Bina kat yüksekliği tüm binalar için 3 m olarak alınmış olup binalar en az 4 kat en fazla 9 katlıdır. Yüksek katlı yapılarda her kat için alıcı noktalar tanımlanmış olup bu noktalar bina dış cephesi üzerinde (0,05 m) konumlandırılmıştır (Şekil 3.2, Çizelge 3.4).



Şekil 3.2: Bina, yol bariyer konumlaması.

Çizelge 3.4: Bina özellikleri ve binalardaki nüfus dağılımı tablosu.

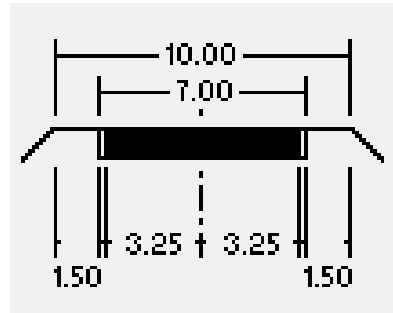
Bina No	Yükseklik	Kat sayısı	Oturan Sayısı
1	18	6	36
2	12	4	25
3	18	6	45
4	27	9	54
5	24	8	50
Toplam Nüfus			210

Trafik akımı tüm durum çalışmalarında “sürekli akım” olarak tanımlanmıştır. Gündüz-akşam-gece saat aralıkları için aşağıdaki (3.5) saatlik trafik hacim değerleri ve kompozisyonu kullanılmıştır:

Çizelge 3.5: Trafik özellikleri tablosu.

Değişken	Gündüz 07:00-19:00	Akşam 19:00-23:00	Gece 23:00-7:00
Trafik Sayım Değeri (araç/saat)	1000	800	250
Ağır Taşıt Oranı (ATO)	%10	%10	%10
Hafif Taşıt Hız (km/sa)	80	70	90
Ağır Taşıt Hız (km/sa)	50	50	60

Yol eğimi %0 olarak alınmış olup, yol kesiti olarak çift yönlü, 3,25 m şerit genişliğine sahip RQ10 tipi yol detayı kullanılmıştır (Şekil 3.3). Yol kaplama tipi olarak bitümlü asfalt kaplama (enrobé bitüme / asphalt pavement) olarak seçilmiştir.



Şekil 3.3: RQ10 tipi yol kesit detayları.

12 adet durum çalışması gerçekleştirilmiş olup, her durum çalışmasında gürültü bariyer özelliklerinden yükseklik ve yutuculuk özellikleri ile bariyer üst tipi (başlık) değiştirilmiştir. Buna göre yapılan durum çalışmalarının özet tablosu (Çizelge 3.6) aşağıda yer almaktadır:

Çizelge 3.6: Gürültü bariyeri özellikleri.

Durum Çalışması No	Yükseklik (m)	Yutuculuk Kats. (sadece yola bakan yüzey)	Başlık Tipi	Açıklama
1	-	-	-	Bariyersiz
2	3	0,01	-	Yansıtıcı
3	5	0,01	-	Yansıtıcı
4	7	0,01	-	Yansıtıcı
5	3	0,3	-	Perlit Kaplama
6	5	0,3	-	Perlit Kaplama
7	7	0,3	-	Perlit Kaplama
8	7	0,3	Yola bakan eğik başlık 30x30 cm	Perlit Kaplama
9	7	0,3	T-şeklinde başlık 30+30 cm	Perlit Kaplama
10	7	0,3	Silindirik Başlık Φ 30 cm	Perlit Kaplama

3.4 Akustik Modelleme Sonuçları

Model sonuçlarında yer alan tabloların başlıkları özellikle yazılımda yer alan gürültü aralıklarına denk gelen ve lejantta verilen renklerde seçilmiş olup, tablolar ve gürültü haritaları arasında değerlendirmeye yönelik kolaylık sağlanması amaçlanmıştır.

Yolun mevcut yol ve yapıların da konut fonksiyonunda olduğunu kabul ettiğimizde, Çevresel Gürültünün Kontrolü ve Yönetimi Yönetmeliği EK VII - Tablo 1 gereğince mevcut yollardan kaynaklanan gürültü değerleri aşağıda verilen limitleri sağlamalıdır.

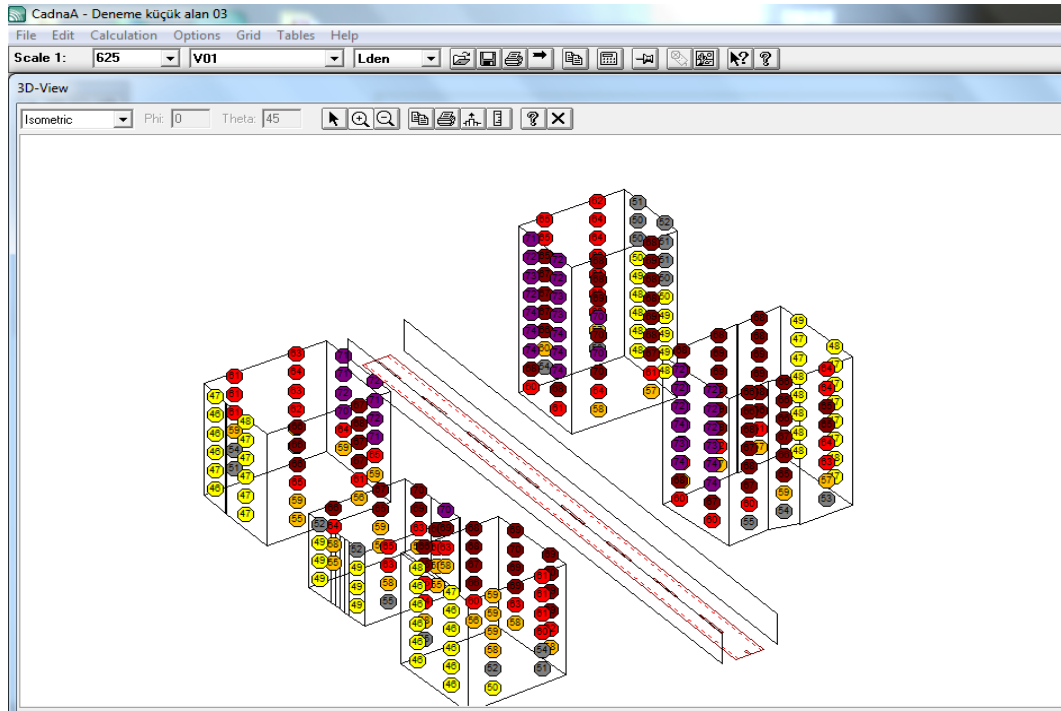
$L_{gündüz}$: 68 dB(A)

$L_{akşam}$: 63 dB(A)

L_{gece} : 58 dB(A)

Burada verilen değerler esas alındığında ise L_{gag} (gündüz akşam gece) değerinin Çevresel Gürültünün Kontrolü ve Yönetimi Yönetmeliği EK I – Madde 1.1.1 L_{gag} hesaplanması formülü gereğince 63,2 dB(A) olması gerekmektedir.

Nüfus dağılımları gerçekleştirilirken, gürültü seviye aralıkları 5 dB(A) farklar için belirlendiğinden, mevzuatta verilen eşik değerin bulunduğu aralığa düşen kişi sayısının yarısı ile daha üst gürültü seviyelerinde etkilenen kişi sayıları toplanarak her bir durum için “toplam etkilenen kişi sayısı” bulunmuştur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Gürültü seviye aralıklarına düşen kişi sayılarının hesaplanması için kullanılan izometrik görünüm örneği.

Yapılan model çalışmalarında gürültü bariyerlerinin bazı özellikleri değiştirilerek elde edilen akustik performansı L_{gag} , $L_{gündüz}$, L_{gece} olarak analiz edilmiştir.

3.4.1 Bariyersiz durum analizi

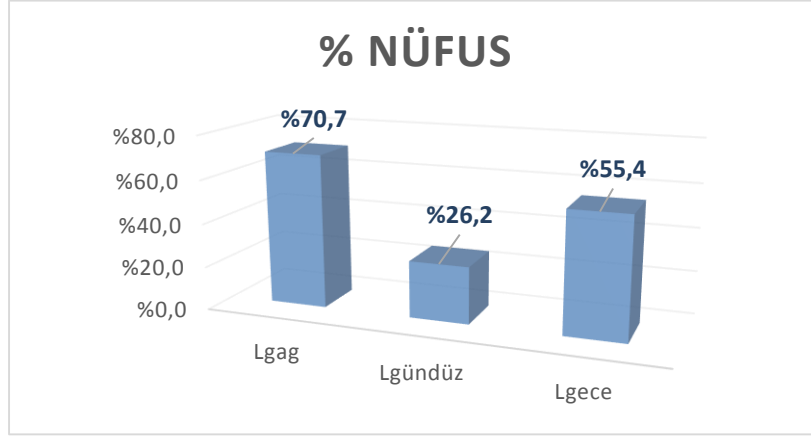
Bariyer konumlanmamış halde mevcut trafik şartları altında mevzuatta verilen gürültü seviye limitleri üzerinde etkiye maruz kalan kişi sayısı ve %si çalışma yapılan alan üzerindeki toplam nüfus sayısı olan 210 kişi üzerinden hesaplanmıştır. Çalışma alanı için gece ve gündüz nüfus değişiklikleri olmadığı varsayılmaktadır (Çizelge 3.7, Çizelge 3.8 ve Şekil 3.5).

Çizelge 3.7: Bariyersiz durumda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.

Bariyersiz Durum Çalışması								Lacivert
								Mavi
		Yeşil	Sarı	Gri	Turuncu	Kırmızı	Bordo	Mor
	dB(A)	≤44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	≥70
L_{gag}	kişi	18,6	25,4	6,0	0,0	23,0	78,6	58,4
L_{gag}	%	8,8	12,1	2,9	0,0	11,0	37,4	27,8
$L_{gündüz}$	kişi	34,9	15,1	0,0	12,9	50,9	82,4	13,8
$L_{gündüz}$	%	16,6	7,2	0,0	6,2	24,2	39,2	6,5
L_{gece}	kişi	53,3	0,0	15,8	49,5	79,8	11,8	0,0
L_{gece}	%	25,4	0,0	7,5	23,6	38,0	5,6	0,0

Çizelge 3.8: Bariyersiz durumda mevzuatta verilen limit değerler üzerinde trafik gürültüsüne maruz kalan toplam kişi sayısı ve yüzdesi

	Sınır dB(A)	Etkilenen Kişi	Bariyersiz durum
Lgag	63,2	Sayısı	149
		%si	%70,7
Lgündüz	68,0	Sayısı	55
		%si	%26,2
Lgece	58,0	Sayısı	116
		%si	%55,4



Şekil 3.5: Bariyersiz durum zaman aralıklarına bağlı etkilenen nüfus yüzdesi.

3.4.2 Farklı yüksekliklerde yansıtıcı tip bariyer konulması durum analizi

Tüm yol boyunca 3mt, 5mt ve 7 mt yüksekliklerinde bariyerler konumlanması durumunda ayrı ayrı durum analizi yapılmıştır. Mevcut trafik şartları altında mevzuatta verilen gürültü seviye limitleri üzerinde etkiye maruz kalan kişi sayısı ve %si çalışma yapılan alan üzerindeki toplam nüfus sayısı olan 210 kişi üzerinden çeşitli bariyer yükseklikleri için hesaplanmıştır (Çizelge 3.9'dan Çizelge 3.12'ye kadar ve Şekil 3.6).

Çizelge 3.9: 3 mt yansıtıcı bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi

		3mt Bariyer Durum Çalışması							Lacivert
		Yeşil	Sarı	Gri	Turuncu	Kırmızı	Bordo	Mor	Mavi
	dB(A)	≤44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	≥70	
Lgag	kişi	4,7	34,0	13,0	13,0	36,7	66,0	42,6	
Lgag	%	2,2	16,2	6,2	6,2	17,5	31,4	20,3	
Lgündüz	kişi	31,2	18,3	6,3	25,8	61,6	53,2	13,8	
Lgündüz	%	14,8	8,7	3,0	12,3	29,3	25,3	6,5	
Lgece	kişi	51,0	7,0	23,6	63,0	51,7	13,8	0,0	
Lgece	%	24,3	3,3	11,3	30,0	24,6	6,5	0,0	

Çizelge 3.10: 5 mt yansıtıcı bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.

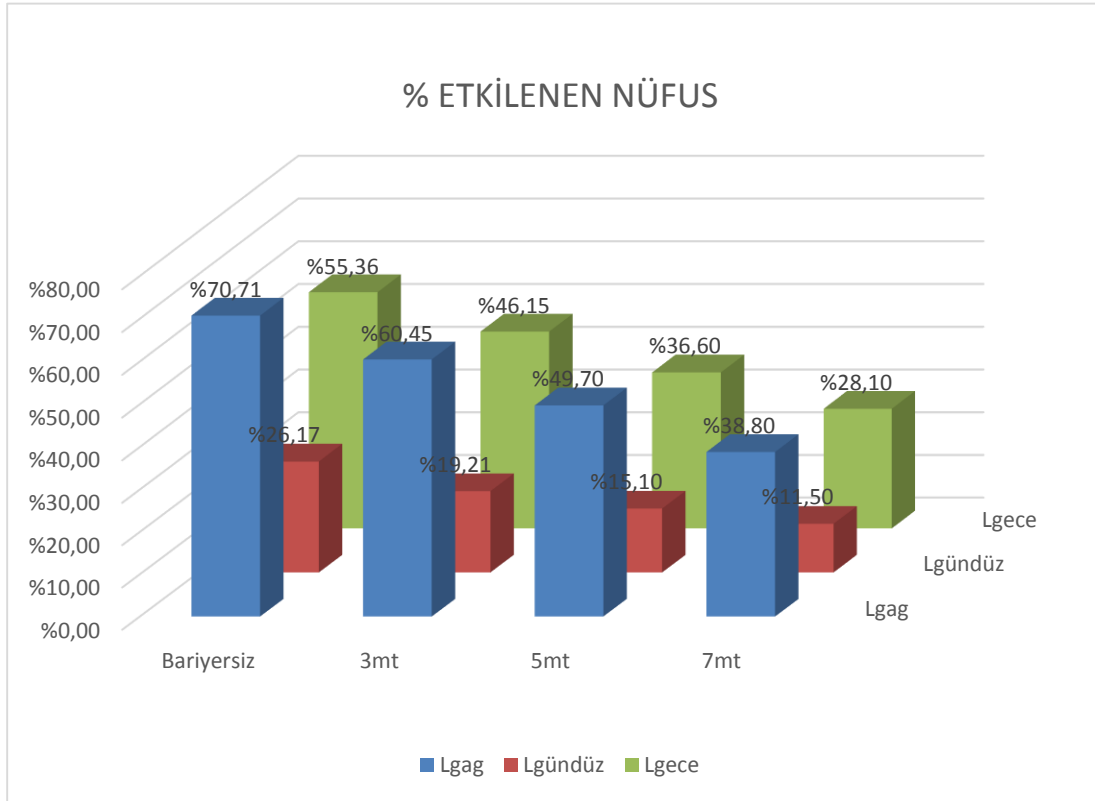
		5mt Bariyer Durum Çalışması							Lacivert
		Yeşil	Sarı	Gri	Turuncu	Kırmızı	Bordo	Mor	Mavi
	dB(A)	≤44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	≥70	
Lgag	kişi	0,0	44,1	17,0	25,9	37,4	56,8	28,8	
Lgag	%	0,0	21,0	8,1	12,3	17,8	27,1	13,7	
Lgündüz	kişi	27,9	28,3	17,4	32,5	49,6	45,3	9,0	
Lgündüz	%	13,3	13,5	8,3	15,5	23,6	21,6	4,3	
Lgece	kişi	56,9	20,5	29,8	51,6	42,9	8,3	0,0	
Lgece	%	27,1	9,8	14,2	24,6	20,4	3,9	0,0	

Çizelge 3.11: 7 mt yansıtıcı bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.

		7mt Bariyer Durum Çalışması							Lacivert
		Yeşil	Sarı	Gri	Turuncu	Kırmızı	Bordo	Mor	Mavi
	dB(A)	≤44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	≥70	
Lgag	kişi	0,0	44,1	17,0	25,9	37,4	56,8	28,8	
Lgag	%	0,0	21,0	8,1	12,3	17,8	27,1	13,7	
Lgündüz	kişi	27,9	28,3	17,4	32,5	49,6	45,3	9,0	
Lgündüz	%	13,3	13,5	8,3	15,5	23,6	21,6	4,3	
Lgece	kişi	56,9	20,5	29,8	51,6	42,9	8,3	0,0	
Lgece	%	27,1	9,8	14,2	24,6	20,4	3,9	0,0	

Çizelge 3.12: Farklı yüksekliklerdeki yansıtıcı bariyer konumlanması durumunda mevzuatta verilen limit değerler üzerinde trafik gürültüsüne maruz kalan toplam kişi sayısı ve yüzdesi.

	Sınır dB(A)	Etkilenen Kişi	Bariyersiz	3mt	5mt	7mt
Lgag	63,2	Sayısı	149	127	104	82
		%si	%70,7	%60,5	%49,7	%38,8
Lgündüz	68,0	Sayısı	55	40	32	24
		%si	%26,2	%19,2	%15,1	%11,5
Lgece	58,0	Sayısı	116	97	77	59
		%si	%55,4	%46,2	%36,6	%28,1



Şekil 3.6: Farklı yüksekliklerdeki yansıtıcı bariyer çalışmasının ölçüm zaman aralıklarına bağlı etkilenen nüfus yüzdesi.

3.4.3 Farklı yüksekliklerde yutucu ($\alpha=0,3$) tip bariyer konulması durum analizi

Tüm yol boyunca 3mt, 5mt ve 7 mt yüksekliklerinde bariyerlerin konumlanması durumunda ayrı ayrı durum analizi yapılmıştır. Mevcut trafik şartları altında mevzuatta verilen gürültü seviye limitleri üzerinde etkiye maruz kalan kişi sayısı ve %si çalışma yapılan alan üzerindeki toplam nüfus sayısı olan 210 kişi üzerinden çeşitli bariyer yükseklikleri için hesaplanmıştır (Çizelge 3.13'den Çizelge 3.16'ya kadar ve Şekil 3.7).

Çizelge 3.13: 3 mt yutucu ($\alpha=0,3$) bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.

3mt Yutucu Bariyer Durum Çalışması								Lacivert
								Mavi
		Yeşil	Sarı	Gri	Turuncu	Kırmızı	Bordo	Mor
	dB(A)	≤44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	≥70
Lgag	kişi	12,1	28,6	16,3	20,5	46,7	59,2	26,8
Lgag	%	5,8	13,6	7,7	9,8	22,2	28,2	12,7
Lgündüz	kişi	35,1	16,8	12,5	31,9	58,5	43,4	11,9
Lgündüz	%	16,7	8,0	5,9	15,2	27,9	20,7	5,7
Lgece	kişi	51,9	14,2	31,7	61,4	42,5	8,4	0,0
Lgece	%	24,7	6,8	15,1	29,2	20,2	4,0	0,0

Çizelge 3.14: 5 mt yutucu ($\alpha=0,3$) bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.

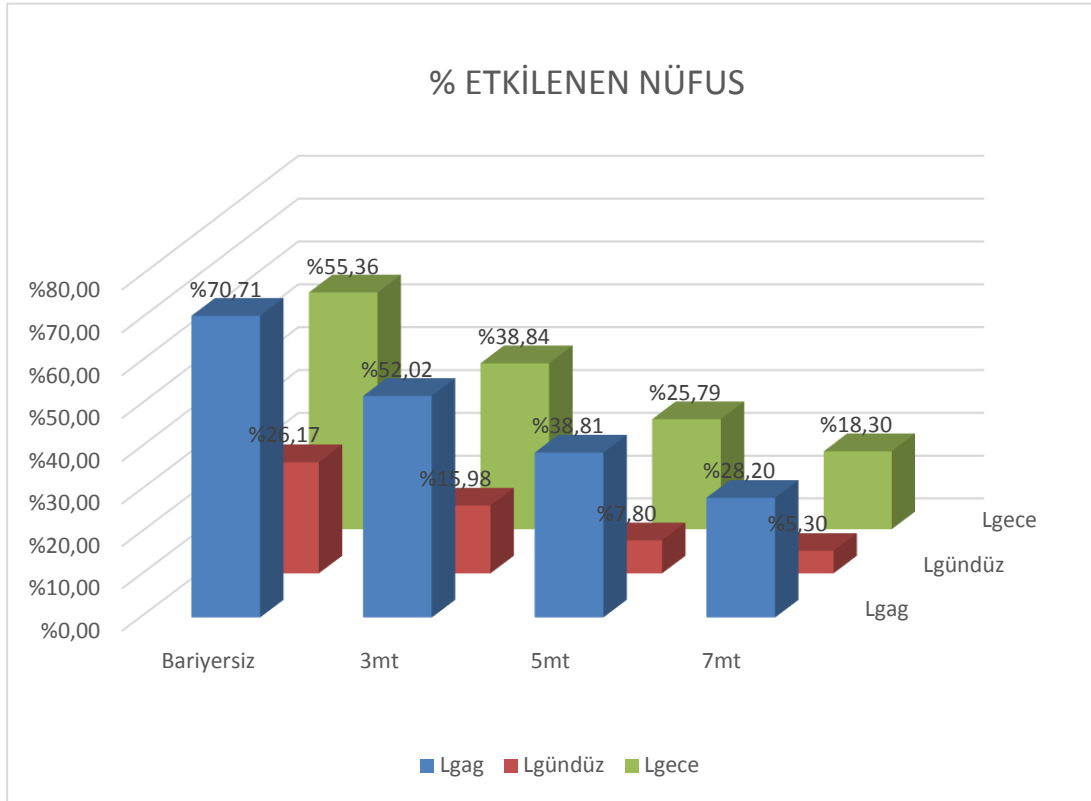
5mt Yutucu Bariyer Durum Çalışması								Lacivert
								Mavi
		Yeşil	Sarı	Gri	Turuncu	Kırmızı	Bordo	Mor
	dB(A)	≤44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	≥70
Lgag	kişi	1,9	47,1	24,4	35,5	39,3	42,4	19,5
Lgag	%	0,9	22,4	11,6	16,9	18,7	20,2	9,3
Lgündüz	kişi	33,6	28,6	29,4	37,3	50,6	28,3	2,3
Lgündüz	%	16,0	13,6	14,0	17,8	24,1	13,5	1,1
Lgece	kişi	65,1	27,9	35,9	53,8	27,3	0,0	0,0
Lgece	%	31,0	13,3	17,1	25,6	13,0	0,0	0,0

Çizelge 3.15: 7 mt yutucu ($\alpha=0,3$) bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.

7mt Yutucu Bariyer Durum Çalışması								Lacivert
								Mavi
		Yeşil	Sarı	Gri	Turuncu	Kırmızı	Bordo	Mor
	dB(A)	≤44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	≥70
Lgag	kişi	0,0	59,3	42,3	32,0	34,5	26,8	15,3
Lgag	%	0,0	28,2	20,1	15,2	16,4	12,7	7,3
Lgündüz	kişi	39,8	44,6	40,0	27,8	35,6	22,3	0,0
Lgündüz	%	18,9	21,3	19,0	13,2	17,0	10,6	0,0
Lgece	kişi	89,5	36,6	26,9	36,8	20,1	0,0	0,0
Lgece	%	42,6	17,4	12,8	17,5	9,6	0,0	0,0

Çizelge 3.16: Farklı yüksekliklerdeki yutucu ($\alpha=0,3$) bariyer konumlanması durumunda mevzuatta verilen limit değerler üzerinde trafik gürültüsüne maruz kalan toplam kişi sayısı ve yüzdesi.

	Sınır dB(A)	Etkilenen Kişi	Bariyersiz	3mt ($\alpha=0,3$)	5mt ($\alpha=0,3$)	7mt ($\alpha=0,3$)
Lgag	63,2	Sayısı	149	109	82	59
		%si	%70,7	%52,0	%38,8	%28,2
Lgündüz	68,0	Sayısı	55	34	16	11
		%si	%26,2	%16,0	%7,8	%5,3
Lgece	58,0	Sayısı	116	82	54	39
		%si	%55,4	%38,8	%25,8	%18,3



Şekil 3.7: Farklı yüksekliklerdeki yutucu ($\alpha=0,3$) bariyer çalışmasının ölçüm zaman aralıklarına bağlı etkilenen nüfus yüzdesi.

3.4.4 Yansıtıcı bariyer ($\alpha=0,01$) ve yutucu bariyer ($\alpha=0,3$) karşılaştırma analizi

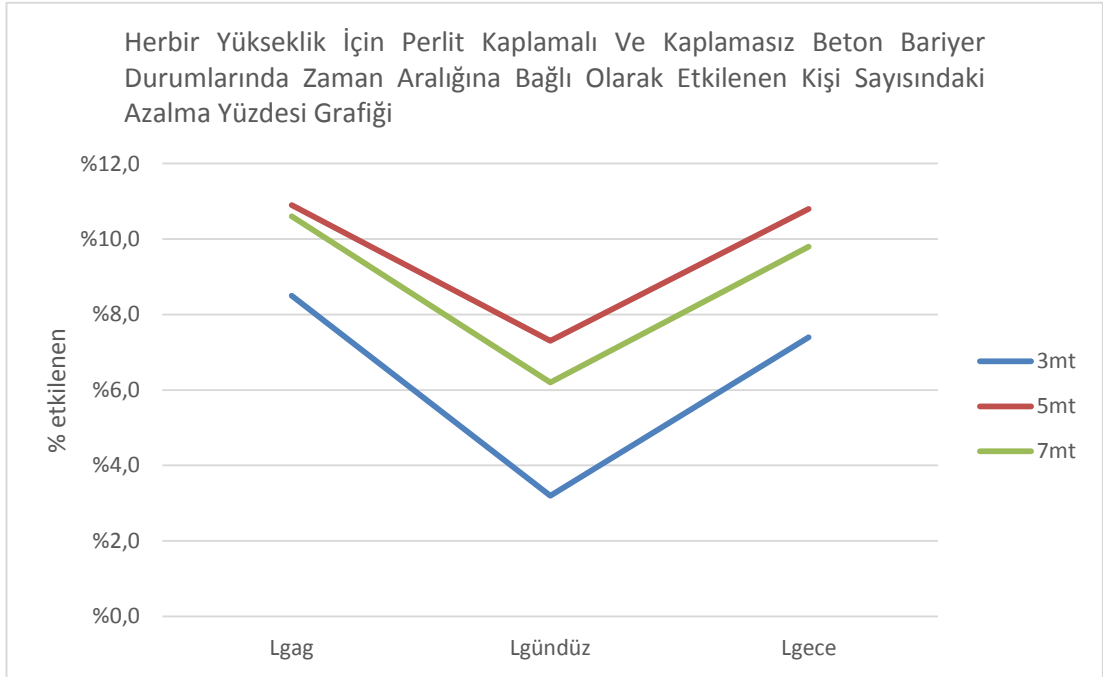
Bariyerlerin ses yutma özelliğine göre brüt beton yani yansıtıcı veya tasarlanmış perlit kaplamalı beton olarak akustik özelliklerinin mevzuatta verilen sınır değerlere göre etkilenen kişi sayısı olarak karşılaştırılması aşağıda verilmektedir. Yüksek ve yansıtıcı yüzeyli yapılardan oluşan yerleşim alanı zorlu akustik şartları temsil etmekle beraber bu durumda dahi her bir ölçüm zaman dilimine göre bariyer yüksekliği arttıkça yutucu ve yutucu olmayan bariyer tipleri arasında etkilenen nüfus oranı olarak %10'a varan bir fark oluşmaktadır (Çizelge 3.17, Çizelge 3.18 ve Şekil 3.8).

Çizelge 3.17: Farklı yüksekliklerdeki yansıtıcı bariyer konumlanması durumunda mevzuatta verilen limit değerler üzerinde trafik gürültüsüne maruz kalan toplam kişi sayısı ve yüzdesi.

	Sınır dB(A)	Etkilenen Kişi	Bariyersiz	3mt	3mt ($\alpha=0,3$)	5mt	5mt ($\alpha=0,3$)	7mt	7mt ($\alpha=0,3$)
L_{gag}	63,2	Sayısı	149	127	109	104	82	82	59
L_{gag}		%si	%70,7	%60,5	%52,0	%49,7	%38,8	%38,8	%28,2
L_{gündüz}	68,0	Sayısı	55	40	34	32	16	24	11
L_{gündüz}		%si	%26,2	%19,2	%16,0	%15,1	%7,8	%11,5	%5,3
L_{gece}	58,0	Sayısı	116	97	82	77	54	59	39
L_{gece}		%si	%55,4	%46,2	%38,8	%36,6	%25,8	%28,1	%18,3

Çizelge 3.18: Yutucu ($\alpha=0,3$) ve yansıtıcı ($\alpha=0,01$) gürültü bariyer durumları arasındaki limit değerler üzerinde trafik gürültüsüne maruz kalan toplam kişi yüzdeleri farkı.

	3mt	5mt	7mt
L _{gag}	%8,5	%10,9	%10,6
L _{gündüz}	%3,2	%7,3	%6,2
L _{gece}	%7,4	%10,8	%9,8



Şekil 3.8: Farklı yüksekliklerdeki yutucu ($\alpha=0,3$) ve yansıtıcı bariyer konumlamasının farklı ölçüm zaman aralıklarına bağlı etkilenen nüfus yüzdesi

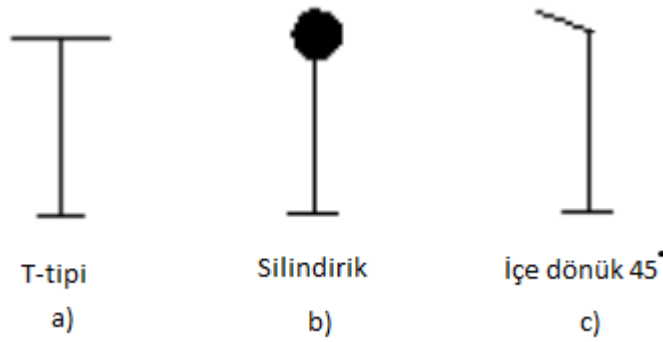
Çizelgeler ve grafikten de görüleceği üzere yutucu olan ve yansıtıcı olan aynı yükseklikteki bariyerler arasında yükseklik arttıkça oluşan lineer bir bağıntı bulunmamaktadır. Grafikte 5m yükseklikte yutucu ve yutucu olmayan bariyerler arasındaki farkın diğer aynı yükseklikteki yutucu ve yansıtıcı tipteki bariyerlerin kendi içindeki farklardan daha fazla olduğu görülmektedir. 5mt ve 7m yükseklikteki yutucu ve yutucu olmayan bariyerler arasındaki farklar ise birbirine yakındır.

Bu sonucun elde edilmesinde, binaların konumlanma şekli, konut alanının genellikle yüksek katlı yapılardan oluşması, bariyer yerleşiminin yola 4m mesafeden başlaması ve binaların yansıtıcı özellikte olması sebep olarak gösterilebilir.

3.4.5 Bariyer üst şeklinde yapılacak iyileştirmeler ve akustik performansa katkısı

Bariyer yüksekliği bakımından oluşan trafik gürültüsünden en az sayıda etkilenen kişi sayısını elde etmede en uygun çözümün, beklenildiği üzere, 7 m yüksekliğinde perlitli kaplama ile kaplanmış yutucu özellikteki bariyer olduğu görülmüştür. Bu bariyer tipi için farklı şekillerde bariyer başlığı eklenmesinin bariyerin akustik performansına katkısı da incelenmiştir.

Bu bölümde başlık olarak en çok kullanılan 3 tip seçilmiştir (Şekil 3.9). Bu seçimde her bir başlık boyutunun 30 cm olarak seçilerek, yaklaşık aynı boyutsal değişimin sonuç üzerindeki etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.9: Modellemede kullanılan başlık tipleri.

T tipi başlık için her bir kanat 30 cm, silindirik başlık için çap 30 cm ve içe 45° açı ile bakan ankastre başlık için 30 cm dikey ve 30 cm yatay olarak 42,42 cm ($30\sqrt{2}$ cm) uzunluk belirlenmiştir. Yola 45° açı ile bakan bariyer tipi bundan sonra ankastre bariyer tipi olarak adlandırılacaktır.

Bu değerler belirlenirken eklenen başlığın bariyer yüksekliğine 30 cm kadar dikeyde bir yükselme ile fiziksel etkisinin aynı olması kabul edilmiştir ve bu sayede sadece bariyer başlık tipinin şekil etkisinin bariyerin gürültü azaltma performansına etkisi incelenmiştir.

Bu durumda elde edilen değerler Çizelge 3.19'dan Çizelge 3.22'ye kadar ve Şekil 3.10'da verilmektedir,

Çizelge 3.19: Ankastre tip başlığa sahip 7 mt yutucu ($\alpha=0,3$) bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.

Ankastre Başlıklı 7mt Yutucu Bariyer Durum Çalışması								Lacivert
		Yeşil	Sarı	Gri	Turuncu	Kırmızı	Bordo	Mavi
	dB(A)	≤44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	≥70
Lgag	kişi	0,0	61,3	44,3	30,9	34,1	29,8	9,8
Lgag	%	0,0	29,2	21,1	14,7	16,2	14,2	4,6
Lgündüz	kişi	42,1	44,8	40,9	27,8	34,8	19,6	0,0
Lgündüz	%	20,0	21,3	19,5	13,2	16,6	9,3	0,0
Lgece	kişi	92,3	36,0	28,6	35,6	17,5	0,0	0,0
Lgece	%	43,9	17,2	13,6	16,9	8,3	0,0	0,0

Çizelge 3.20: T-tipi başlığa sahip 7 mt yutucu ($\alpha=0,3$) bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.

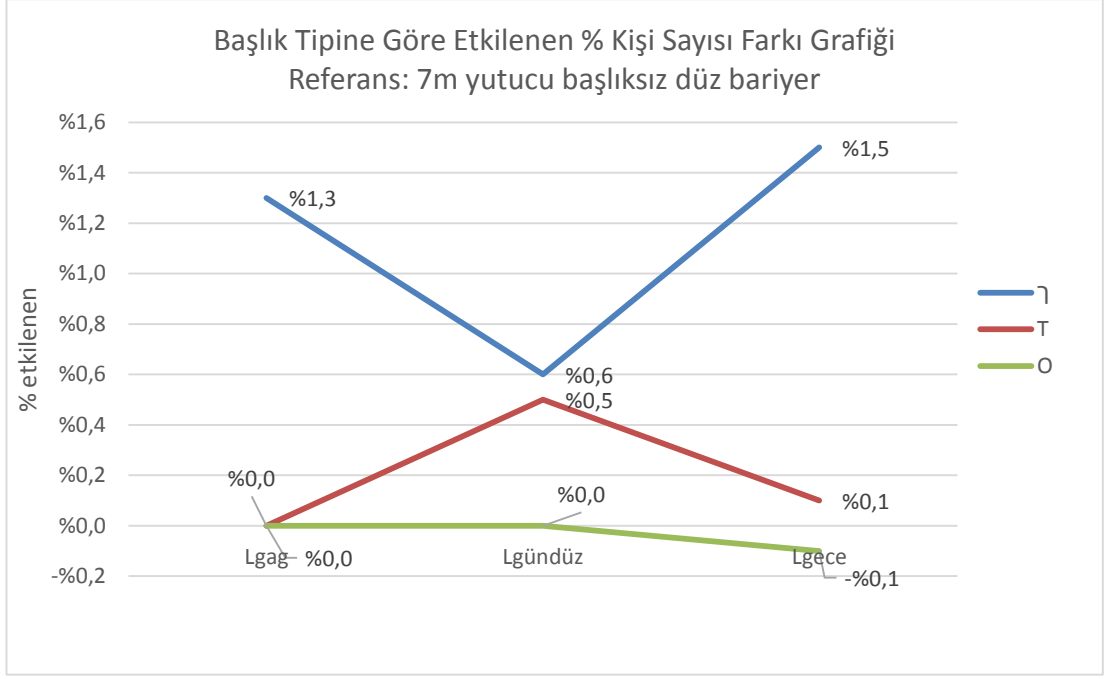
T-tipi Başlığı Bulunan 7mt Yutucu Bariyer Durum Çalışması								Lacivert
		Yeşil	Sarı	Gri	Turuncu	Kırmızı	Bordo	Mavi
	dB(A)	≤44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	≥70
Lgag	kişi	0,0	59,3	41,5	32,8	34,5	26,8	15,3
Lgag	%	0,0	28,2	19,7	15,6	16,4	12,7	7,3
Lgündüz	kişi	43,2	41,8	40,0	29,3	35,6	20,1	0,0
Lgündüz	%	20,6	19,9	19,0	14,0	17,0	9,6	0,0
Lgece	kişi	90,7	35,1	27,9	36,2	20,1	0,0	0,0
Lgece	%	43,2	16,7	13,3	17,2	9,6	0,0	0,0

Çizelge 3.21: Silindirik tip başlığa sahip 7 mt yutucu ($\alpha=0,3$) bariyer konumlanması durumunda her bir gürültü seviye aralığı için etkilenen kişi sayısı ve yüzdesi.

		Silindirik Başlığı Bulunan 7mt Yutucu Bariyer Durum Çalışması							Lacivert
		Yeşil	Sarı	Gri	Turuncu	Kırmızı	Bordo	Mor	Mavi
	dB(A)	≤44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	≥70	
Lgag	kişi	0,0	59,9	41,6	32,0	34,5	26,8	15,3	
Lgag	%	0,0	28,5	19,8	15,2	16,4	12,7	7,3	
Lgündüz	kişi	42,1	44,0	39,3	27,8	34,7	22,3	0,0	
Lgündüz	%	20,0	21,0	18,7	13,2	16,5	10,6	0,0	
Lgece	kişi	89,8	36,0	26,9	37,1	20,1	0,0	0,0	
Lgece	%	42,8	17,1	12,8	17,7	9,6	0,0	0,0	

Çizelge 3.22: Farklı başlık tipine sahip 7m yüksekliğindeki bariyerlerin konumlanması durumunda mevzuatta verilen limit değerler üzerinde trafik gürültüsüne maruz kalan toplam kişi yüzdesi.

Başlık Tipi / Ölçüm zaman aralığı	Düz	7	T	O
Lgag	%28,2	%26,9	%28,2	%28,2
Lgündüz	%5,3	%4,7	%4,8	%5,3
Lgece	%18,3	%16,8	%18,2	%18,4
7m düz bariyere göre % fark değeri		$\Delta 7$	ΔT	ΔO
Lgag		%1,3	%0	%0
Lgündüz		%0,6	%0,5	%0
Lgece		%1,5	%0,1	%-0,1



Şekil 3.10: Başlık tipine göre etkilenen yüzde kişi sayısı farkı grafiği.

Başlık tiplerinin performansa katkısı incelendiğinde ise, bariyere eklenen fiziksel eklenti efektif yüksekliği tüm başlık tiplerinde 30 cm olarak aynı olsa dahi, 7m yüksekliğindeki başlıksız düz bariyere göre en büyük farkın ankastre tip başlığa sahip bariyerde ortaya çıktığı görülmektedir. Özellikle L_{gag} ve L_{gece} ölçümlerinde bu farkın %1,5 seviyelerinde olması gibi.

L_{gece} ve L_{gag} ölçümlerinde, %1 değişim ihmal edilirse, T-tipi ve yuvarlak başlık tipinin bariyerin akustik performansına katkıda bulunmadığı görülmektedir.

Ankastre tipi ve T-tipi bariyerlerde $L_{gündüz}$ ölçümlerindeki etkilenen kişi sayısındaki değişim hemen hemen aynı oranda kalmaktadır.

Başlıklardan elde edilen sonuçların yeterince tatminkâr olmamasının nedenlerinin bariyerin yola olan mesafesinin kaynak ve alıcı arasındaki mesafeye bağlı olan Fresnel sayısını değiştirecek ölçüde büyük olmaması ve alıcıların bulunduğu binaların görece olarak yüksek olması ve yansıtıcı kaplamalara sahip yapılar olması sayılabilir.

Elde edilen sonuçlara ait tüm gürültü haritaları EK A'da verilmiştir.

4. EKONOMİK ANALİZ

Gürültü bariyerlerinin inşa ve işletme maliyetleri karar vericiler için belirlenmesi gereken önemli faktörlerdir. Bir gürültü bariyerinin maliyetini etkileyen 3 ana başlık sayılabilir:

1. Bariyer ihtiyacı maliyeti: Bariyerin fiziksel özelliklerini belirleyen maliyettir. Mevcut durumun yanı sıra ileriye dönük verilen bir karara göre bariyer ihtiyacı belirlenir. Mevcut trafik miktarı ve oluşan gürültü ile birlikte projeksiyon süresi sonunda öngörülen trafik, gelişen yerleşim alanları ve oluşacak gürültü miktarı modellenmelidir. Bütçe, projeksiyon süresi ve karar vericinin yaklaşımı en büyük kısıtlardır.
2. Bariyerin fiziksel maliyeti: Bariyerin fiziksel maliyetini, bariyerin tasarlanan özellikleri ve bariyerde kullanılan malzemeler belirlemektedir. Bu maliyeti oluşturan kalemlerden birisi de kamulaştırma maliyetidir. Diğer maliyetler ise özetle şu şekilde sıralanabilir: gereken panel alanı (m^2), direk adedi veya toplam boyu, montaj maliyeti, derz sızdırmazlık malzemeleri, kaplama veya boya (özellikle anti-grafiti kaplamaları), nakliye, arazi hazırlık işlemleri, bakım ve onarım gerekleri vb.
3. Toplumsal reaksiyon maliyeti: Bariyerin toplum tarafından kabul edilmesini sağlayan estetik kaygıların bariyer tasarımına getirdiği maliyettir. Bu maliyet, tasarım aşamasında farklı tip, renk veya şekildeki bariyerlerin yerel halka çeşitli görseller aracılığıyla sunulup kabul görenler arasından maliyete göre seçim yapılan bariyerler ile sadece maliyete göre seçim yapılanlar arasındaki fiyat farkına eşittir. Bu maliyet her zaman değil ancak genellikle pozitif bir değerdir.

4.1 Gürültü Bariyeri İnşa ve İşletme Maliyeti

Gürültü bariyeri inşa maliyeti projenin uygulanacağı alan ile yakından ilişkilidir. Arazi maliyeti olarak kamulaştırma maliyeti ortaya çıkmaktadır, ancak bu bedel malzeme seçiminde kullanılan karşılaştırma hesaplarında dikkate alınmamaktadır. Bunun

dışında bir bariyerin inşa maliyetini sadece bariyer aks uzunluğu, yükseklik ve kalınlığı ile kullanılacak malzeme türü belirlememekle birlikte drenaj, zemin yapısı ve temel tipi, işçilik, imalat yerine uzaklık gibi diğer etmenler de etkilemektedir. Kay ve diğ.'nin yaptığı çalışmada 305 m (1000 ft) uzunluk ve 4,6 m (15 ft) yüksekliğindeki bariyerin kullanılan malzeme tiplerinin USA Illinois eyaleti 2000 yılına ait inşa maliyetleri aşağıdaki çizelgede (4.1) verildiği şekilde karşılaştırılmıştır (2001).

Çizelge 4.1: Gürültü bariyeri malzeme tipine göre inşa maliyeti.

Malzeme	İnşa Maliyeti (Kay ve diğ. 2001) [\$ /m ²]	İnşa Maliyeti (FHWA – 1996) [\$ /m ²]
Toprak Sed	111	135
Prekast beton bariyer – yekpare panel ve monolitik direkler	305	211
Prekast/öngermeli beton bariyer - sundurma	291	149
Prekast/öngermeli beton bariyer – yığma panel	-	-
Çelik direk	212	-
Beton direk	262	-
Carsonit	273	579
Durisol	212	154
Noishield Çelik	298	222
Noishield Alüminyum	377	418
Glu-lam Ahşap	197	160
Ahşap direk-panel	180	-
Tropikal sert ahşap direk-panel	-	133
Yumuşak ahşap direk-panel	-	288

Bariyer maliyetlerinin karşılaştırılmasında en büyük problem ise bariyer inşası noktasında maliyeti etkileyen projenin uygulanacağı şehir, projenin büyüklüğü ve inşa süresi, gerekliyse kamulaştırma yapılacak arazinin değeri, inşa ve üretim sahaları arasındaki mesafe gibi birçok değişken faktörün bulunmasıdır. Dolayısıyla her projede aynı malzemeler kullanılsa dahi farklı maliyetler ortaya çıkmaktadır. Ancak bu durum ortalama bir maliyet ortaya koymaya engel değildir. Kamulaştırma gibi değişken kalemlerin karşılaştırma dışı tutulması ve idarelerin ortak bir karşılaştırma listesi oluşturması faydalı olacaktır.

Bariyerin işletme maliyeti, hizmet ömrü süresince oluşan maliyetidir. Yaşam döngü maliyeti (life cycle cost) olarak da adlandırılır. Bariyerin malzeme tipi, bulunduğu iklim şartları, yüzey dokusu, rengi, diğer parçalarının birbiri ile uyumu (büzülme/genleşme gibi), yola olan mesafesi, kaza güvenliği gibi birçok faktör işletme

maliyetini etkilemektedir. Tamir en büyük işletme maliyet kalemlerinden birisidir. Araçların veya araçlardan sıçrayan parçaların bariyere çapması, bariyer inşası sırasında oluşan kusurların zamanla açığa çıkması, zamanla eskime veya kuvvetli dış etkilere maruz kalma gibi sebepler bariyer için tamiri zorunlu kılmaktadır. Bakım ise eskime veya yenilenme gerektirmeden önce bariyeri koruyucu önlemlerin alınmasıdır. Özellikle boyama gibi yüzey kaplama işlemleri bakım kapsamındadır. Tamir ve bakım ile çözülemeyen problemler kısmi veya bütün olarak değiştirilme yolu ile yenilenmektedir.

Toprak sedler hariç tüm bariyerler grafitilerin uzaklaştırılması için boyama veya temizlenmeye ihtiyaç duyarlar. UV dayanımı düşük olan boyalı bariyerlerde yeniden boyama işlemi uygulanırken, şeffaf bariyerlerde ise parçaların değiştirilmesi söz konusudur. Kay ve diğ.'nin (2001) yaptığı araştırmaya göre bakım maliyet hesaplarında ortalama her 5 yılda bir kez toplam bariyer alanının %1'i kadar alanın grafitiden uzaklaştırılması gerektiği varsayılmaktadır. Aynı araştırmaya göre, beton bariyerlerin ömrü 50 yıl varsayılarak, boya uygulanan beton bariyerlerde yeniden boyama her 20 yılda bir kez, sundurma tip boyasız beton bariyerlere estetik amaçlı boyama 25 yılda bir kez, metal bariyerlerde yeniden boyama 10 yılda bir kez yapılmalıdır. Ahşap bariyerlerin ömrü 25 yıl varsayıldığında, prekast beton paneller gibi her 10 yılda panel değişimi öngörülmektedir. Toprak sedler için beton bariyerler gibi 50 yıl hizmet ömrü öngörülmektedir ve her yıl arazi bakımı ve çim biçme işlemi gerektirdiği varsayılmaktadır. Ayrıca hizmet ömrünü dolduran bariyerlerin atık maliyeti de işletme maliyeti içinde değerlendirilmektedir.

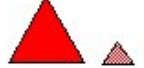
Çizelge 4.2: Gürültü bariyeri malzeme tipine göre işletme maliyeti (Morgan, Kay, & Bodapati, 2001).

Malzeme	Bakım Maliyeti (Kay ve diğ. 2001) [\$ /m ²]
Toprak Sed	150
Prekast beton bariyer – yekpare panel ve monolitik direkler	333
Prekast/öngermeli beton bariyer - sundurma	321
Prekast/öngermeli beton bariyer – yığma panel	-
Çelik direk	255
Beton direk	290
Carsonit	323
Durisol	364
Noishield Çelik	429

Noishield Alüminyum	540
Glu-lam Ahşap	342
Tropikal sert veya yumuşak ahşap direk-panel	302

4.2 Gürültünün Ekonomik Analizi

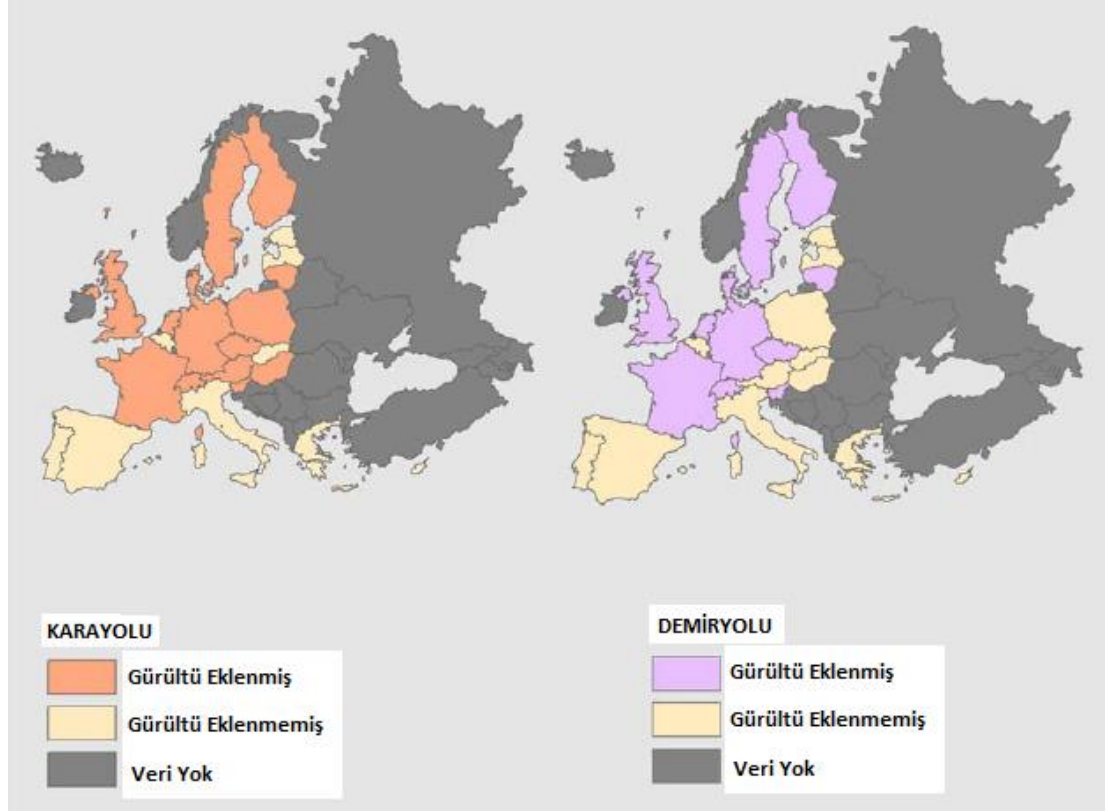
Bir projedeki ölçülemeyen etkilerin para gibi genel, belirli bir değere çevrilmesi projelerin fizibilitesinin yapılabilmesi için önemli bir bileşendir. Özellikle toplumun genelini etkileyen, bireysel olarak fertleri ekonomik olarak doğrudan etkilemeyen, daha çok zaman, stress, sağlık bozukluğu gibi maddi bir kaynak olarak ölçülmesi zor etkiler bu tip olguların içerisinde yer alır. Sağlık harcamaları gibi bazı olgular paraya dönüştürülerek göz önüne alınabilir gibi gözükse de kaybolan sağlığın, yitirilen bir ömrün değerini o projenin fizibilite unsuru olarak almak zordur. Yine de doğrudan ölçemediğimiz fakat etkilerini gözlemleyip yaşadığımız olguları proje fayda veya zararı olarak hesaba katmak gerekmektedir (Şekil 4.1).

	Maliyet	Fayda	Karar
TİCARİ DEĞER Commercial value			Maliyet faydadan büyüktür.
TİCARİ OLMAYAN DEĞER Non-Commercial value			Fayda maliyetten büyüktür.
TOPLAM			Ticari olmayan değerlerin eklenmesi ile toplamda fayda maliyetten büyük hale gelebilir.

Şekil 4.1: Ticari ve ticari olmayan değerlerin birlikte değerlendirilmesi (Nijland & Wee, 2008).

Gürültü de yukarıda belirtilen ticari olmayan olgulardandır. Özellikle ulaşım projelerinin fizibilite çalışmalarının önemli girdilerinden biridir. Nitekim birçok insan ulaşım kaynaklı gürültü ile iç içe bir hayat yaşamaktadır. Ulaşım kaynaklı gürültünün getirdiği en büyük etkiler yaşam alanındaki gürültünün yaşam konforunu bozması, konut fiyatlarına negatif etkisi, strese sebep olması, kalp krizi gibi önemli sağlık problemlerini tetikleyerek ölüme sebep olması sayılabilir.

Ulaşım projelerinin fizibilite onay kılavuzlarında fayda maliyet analizi girdisi olarak gürültünün ekonomik değerinin dikkate alınıp alınmaması durumu ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. Aşağıdaki şekil (4.2) Avrupa bazında ülkelerin gürültüyü proje onay kılavuzlarında dikkate alıp almadıklarına göre gruplandırmaktadır.



Şekil 4.2: Avrupa'da proje onay kılavuzlarının gürültü kapsama durumu (Nijland & Wee, 2008).

Bir ulaşım projesinde oluşan çevresel etkilerin ekonomik analizde girdi olarak kullanılmasında en çok kullanılan metod hasar fonksiyonu yaklaşımı (damage function approach) dır. Bu çevresel etki oluşan trafik gürültüsü olarak alınırsa şu aşamalardan oluşan bir değerlendirme işlemi yapılır (Navrud, 2011):

1. Proje ile oluşan gürültü emisyon değişimi yer, zaman, frekans, seviye, gürültü kaynağı tipi (birden fazla kaynak tipi de olabilir) ile birlikte tanımlanır.
2. Gürültü yayılım modelleri kullanılarak farklı noktalardaki gürültüye maruz kalma miktarı dB(A) ve gürültü indikatörleri (L_{den} ve L_{night}) olarak tahmin edilir.

3. Gürültü indikatörleri ile belirlenen gürültü aralıklarında, tepki (response) tipine ait “1 yılda gürültüden en fazla rahatsız olan (HA=highly annoyed) kişi yüzdesi” gibi nihai nokta belirlenir. Tepki tipine ait nihai noktalar ile maruz kalma (exposure) arasında bir bağıntı kurulur. Bu bağıntıya Maruziyet-Tepki Fonksiyonu (Exposure-Response Function = ERF) denir.
4. ERF ve nihai noktalar için gerekli bilgi veri tabanı oluşturulur. Örneğin, en fazla rahatsız olan kişi sayısındaki değişimi belirleyebilmek için proje alanındaki etkilenecek bina sayısı, binalardaki daire sayıları, daire başına düşen kişi sayısı, varsa mevcut gürültü önlemleri gibi bilgilerin toplanması gerekmektedir.
5. ERF’ye ait her bir nihai noktanın bir birimlik değişiminin ekonomik değerini bulabilmek için Çevresel Değerleme Teknikleri (Environmental Valuation Techniques) kullanılır. Bunun için 2 ana yaklaşımdan biri kullanılır:
 1. Bu projeye özel, temel bir çevresel değerlendirme tekniği olan Belirlenmiş Tercihler (Stated Preferences) teknikleri
 2. Mevcut değerlendirme çalışmalarıyla elde edilmiş tahminlerin transferi (fayda transfer teknikleri [benefit transfer techniques] kullanımı, gürültü değerlendirme çalışmaları üzerine literatür veya veritabanı taraması kullanımı gibi).
6. Ekonomik fayda/maliyet analizi ile hesaplanan gürültü rahatsızlığındaki azalma veya artışın ekonomik değeri, ilgili etkiye (örneğin; yıllık HA kişi sayısının değişim miktarı) bağlı olarak her bir nihai nokta (örneğin; Euro/HA kişi sayısı/yıl) için hesaplanır. En sonunda ise, ERF’lere ait tüm nihai noktalardan elde edilen değerleri toplanır.

Yukarıda belirtilen aşamalardaki “çok fazla rahatsız olma” durumu kişiden kişiye değişen ve anketlerle belirlenen bir olgudur. Bu olgunun sosyal ve sosyo-akustik anketlerde değerlendirilebilmesi için International Organization for Standardization (ISO) tarafından ISO/TS 15666 numaralı teknik şartname yayımlanmıştır (2003a). Bu döküman sadece soru şekilleri, cevap ölçekleri ve sonuçların raporlanma formatını belirlemekte olup, sonuçların analizine yönelik bir kural/kısıt getirmemektedir. Bu teknik şartname kuralları sadece “evde” meydana gelen huzursuzluklar için geçerlidir, denilmektedir. Bu rehber göre gürültü rahatsızlık ölçeği “kelime” esaslı cevaplar için “hiç – az – orta – çok – aşırı” olmak üzere 5, “sayısal” cevaplar için “0-10 arası” olmak

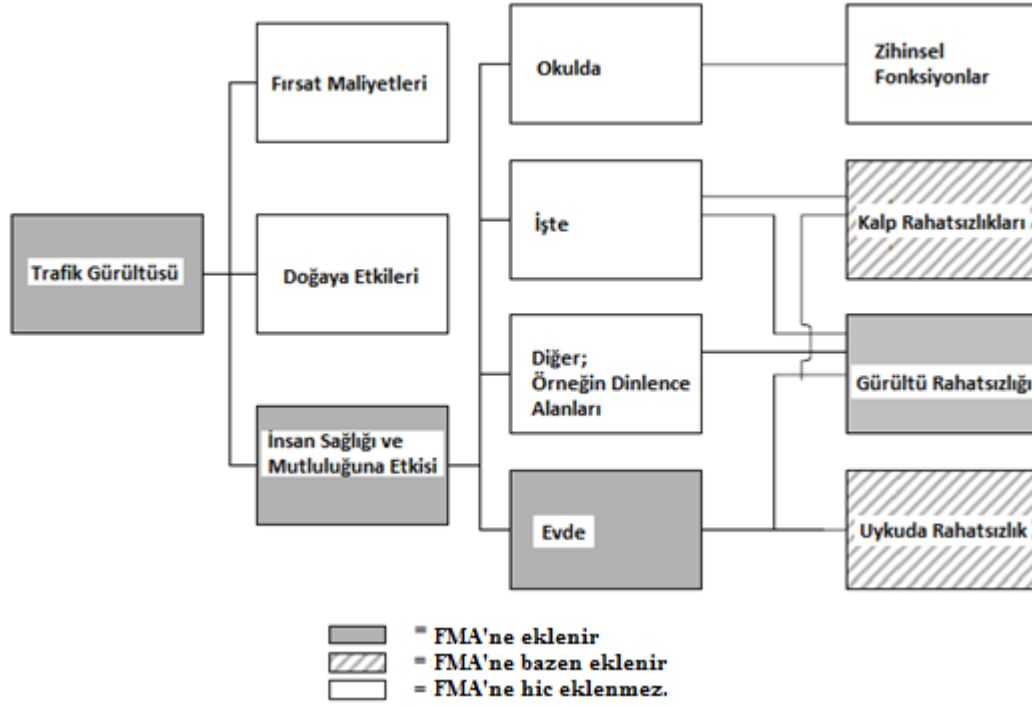
üzere 11 ölçeklidir. “Çok fazla rahatsız olma (HA)” bu ölçek grubu için çok rahatsız ve aşırı rahatsız olma durumlarını kapsamaktadır.

Gürültünün ekonomik maliyetinde 3 ana başlık bulunmaktadır:

1. Kaynak Maliyeti: Genel veya özel sağlık sigortası ile doğrudan cepten nakdi olarak ödenen sağlık harcamaları bu grupta yer almaktadır.
2. Fırsat Maliyeti: iş zamanının kaybı (performans düşüklüğü nedeni ile üretkenliğin azalması durumu) veya kişisel zaman kaybının (ödemesi olmayan iş dahil fazla çalışma durumundan dolayı kişisel zaman kaybı) maliyeti bu grupta yer almaktadır.
3. Yararsızlık (Dis-utility) Maliyeti: Gürültü nedeni ile kişisel zaman tatminindeki azalma, konforsuzluk veya rahatsızlık (ağrı ve keder), gelecek hakkında ümitsizliğe düşme, aile fertlerine veya başkalarına rahatsızlık verme vb.

İlk iki madde genel olarak hastalıktan sakınma maliyeti (Cost-of-Illness COI) olarak adlandırılmaktadır.

Ulaşım gürültüsünün değerlemesinde genellikle gürültüden duyulan rahatsızlığın kendisi dikkate alınır. Sağlık üzerindeki etkisi veya uyku üzerindeki etkileri kimi zaman dikkate alınırken, algı ve iletişim üzerindeki etkisi ise hiç dikkate alınmamaktadır. Ayrıca bu değerlemede okul, ofis, fabrika gibi alanlarda değil, sadece “konutlarda” meydana gelen trafik gürültü rahatsızlığı hesaba katılmaktadır. Gürültü değerlemesi üzerine büyük etkisi olmasa da, Avrupa’da sadece Fransa ve Danimarka’da gürültünün sağlık üzerindeki etkisi dikkate alınmaktadır (Nijland & Wee, 2008) (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: Ulaşım Gürültüsü Değerlemesinin Kavramsal Tasarımı (Nijland & Wee, 2008).

4.2.1 Karayolu kaynaklı gürültüyü değerlendirme teknikleri

Otoyol kenarında yaşayan insanların otoyoldan kaynaklanan gürültüden ne kadar etkilendiği akustik ölçümler veya modeller yardımı ile bulunabilir veya tahmin edilebilir. Oluşan etki fayda-maliyet analizine dönüştürülmek istenildiğinde ise farklı birimlerdeki farklı olguların birlikte nasıl değerlendirileceği problemi ortaya çıkmaktadır. Böyle bir çalışmada tüm girdiler ve çıktıların, fayda ve maliyet olarak değerlendirilmesinde, aynı birime dönüştürülmesi gerekir. Tüm soyut ve somut olguları, oluşan gürültünün yaptığı etkiyi de parasal olarak dönüştürülmesi gerekmektedir.

Literatürde çok farklı çevresel değerlendirme sınıflandırmaları bulunsa da genel olarak doğrudan (belirlenmiş tercihler) ve dolaylı (önceki çalışma sonuçlarının transferi) metotlar olarak 2'ye ayrılabilir.

4.2.1.1 Açıklanmış tercihler (stated preferences - sp) teknikleri

Açıklanmış tercihler tekniği daha çok piyasa araştırması için kullanılmak amacı ile 1970lerde geliştirilmiştir. Doğrudan ölçüm metotlarından olup daha çok anket çalışmasına dayalı çalışmalardır. Anket yapılan grup veya topluluğun sorulan sorular karşısında verdiği cevaplara göre herhangi bir mal veya hizmet için en fazla ne kadar ödeyebileceklerinin belirlenmesine yönelik yöntemler grubudur. Bu teknikte en çok kullanılan soru tarzı, belli parametrelerle (ulaşım modu-para-zaman gibi) karşılaştırmalı olarak verilen iki durum karşısında anket grubunun hangisini seçeceğini kesinlik derecesine göre belirlemesi şeklindedir. Kesinlik derecesi “Kesinlikle A/B”, “Belki A/B” veya “A ve B arasında kararsız” gibi sunulan seçeneklerin anket grubu tarafından işaretlenmesi şeklinde belirlenmektedir.

Açıklanmış tercihler metodunun dezavantajlarından biri de verilen cevapların doğruluğudur. Nitekim verilen cevapların ne kadar sağlıklı olduğunun kimi zaman başka metotlarla doğrulanması gerekebilir.

En çok kullanılan Belirlenmiş Tercihler Teknikleri şunlardır:

1. Koşullu değerlendirme yöntemi (contingent valuation method - CVM)

Doğrudan ölçüm yaklaşımı ile anket grubuna kazanacakları bir fayda için doğrudan ödemek istedikleri vergi veya ödeme şeklinde belirtilmiş tutarın (Ödeme İstekliliği veya WTP – willingness to pay) veya kaybedecekleri bir fayda için kabul edecekleri kendilerine yapılacak ödemenin (Kabul İstekliliği veya WTA – willingness to accept) sorulması ile gerçekleştirilen çalışmadır. Soruların önyargıdan uzak hazırlanması ve anket yapılan kişileri mümkün olduğunca tanıyabilme imkanı sunmalıdır. CVM’nin en önemli dezavantajı ödeme istekliliği her zaman ödeyebilme gücü anlamına gelmemektedir. Burada dikkat edilecek diğer bir husus da protesto amacı ile verilen aykırı değerlerdir. Belli bir alan dışında kalan aykırı sonuçlar değerlendirme dışına alınmalıdır.

2. Tercih modellemesi (choice modelling)

Ankete katılanların belli alternatifler arasında seçim yapması talep edilir. Her bir alternatifin altında o alternatife ait tanımlayıcı ve/veya ayırt edici nitelikler bulunmaktadır. Bu nitelikler en fazla 4-5 adet kadar olup anket grubundan bu alternatifler arasından en çok hangisini diğerlerine tercih ettiğini belirlemek üzere sıralama yapması istenir. Tüketici bu durumda tercihini ayrı ayrı özelliklerin

değerlendirilmesi olarak değil tüm özelliklerin bir arada olduğu bir paket olarak gerçekleştirilmiş olur.

4.2.1.2 Ortaya çıkan tercihler (revealed preferences - RP) teknikleri

Belirlenmiş Teknikler metodundaki gibi kuramsal bir alan üzerinde soru sorma şeklinde değil, gerçekleşen tercih ve olayların gözlemlenmesi esasına dayanmaktadır. Kısaca dolaylı ölçüm teknikleridir. Bu tekniklerde piyasadaki tüketicilerin gerçekleştirdikleri davranışlardan, fayda olarak kazanacakları bir hizmete ne kadar ödeyebilecekleri tahmin edilmeye çalışılır.

En çok kullanılan RP teknikleri şunlardır:

1. Hedonik ücretleme yöntemi (hedonic pricing method - HPM)

Büyüklik, yapı, tasarım gibi aynı fiziksel özelliklere ait iki ev arasında dahi fiyat olarak fark olabilir. Bunun nedeni ulaşım modlarına yakınlık, aydınlanma oranı, işe yakınlık, manzara gibi diğer etmenlerdir. Bu durumda tüketiciler bu çevre şartları için ne kadar fazla ödeyebileceklerine karar vermektedirler. Hedonik Yaklaşım bu farkı belirlemeye yönelik bir tekniktir. Değerlendirme olarak denge durumundaki bir piyasadaki konut fiyatlarını dikkate alır.

2. Seyahat maliyeti yöntemi (travel cost method - TCM)

Genellikle seyahat ve dinlence hizmetlerinin değerini ölçmek için kullanılan bir methodtur. Seyahat zamanı ve araç kullanımından kaynaklanan maliyetler, genel maliyetler arasında yer almalıdır. Seyahat zamanını maliyet olarak dönüştürürken genellikle birim zaman çalışma maliyeti dikkate alınmaktadır, ancak insanlar çalışma saatleri içerisinde bu tip seyahatler yapmamaktadır. Ayrıca sigorta ve amortisman giderleri bazı değerlendirmelerde yakıt gideri ile birlikte dikkate alınmamaktadır. Bu belirsizlikler, örneğin çalışma saati birim ücretinin %50sinin veya 1/3ünün birim saat maliyeti olarak dikkate alınması gibi, belli kabuller ile aşılmaktadır. Dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise gerçekleştirilen seyahatin tek bir amaç için gerçekleştiriliyor olmasıdır. Aksi takdirde maliyetlerin amaçlar arasında bölüştürülmesi gerekmektedir.

3. Fayda transfer yöntemi (benefit transfer method - BT)

Piyasada bulunmayan bir ürün veya gerçekleşmemiş bir faaliyet için yapılan öngörü metodlarındandır. Farklı bir lokasyon ve şartlarda gerçekleşmiş ürün veya hizmeti, bulunulan konuma transfer edilmesi ile sonuçların öngörülme çalışmasıdır. Anket çalışmalarının uzun zaman alması ve maliyetli olmasından dolayı oldukça faydalı bir yöntemdir.

Fayda transfer yönteminde ise 2 ana yaklaşım mevcuttur.

3.1. Tekil değer transfer metodu (basit yöntem)

Basit birim transferi: Fayda transferindeki en kolay yöntem olup daha önce yürütülen bir çalışma alanından elde edilen ortama fayda (utility) veya kullanılmazlık (dis-utility) değerinin aynı mevzuata tabi olan alan içerisinde ortalama değer olarak kullanılmasıdır.

Birim transferi (gelir düzeltme faktörü ile): Eğer tahmini fayda birimi örneğin “Euro/dB/kişi/yıl” ise, aynı politik alan içerisinde olsa bile kişilerin 1 dB değişim için verecekleri rahatsızlık tepki düzeyi birbirinden farklı olacaktır. Bunun ilk nedeni gelir, din, eğitim düzeyi, sosyo-ekonomik durum vb. farklılıklar iken diğer nedeni ise, insanların gürültüden kaçınmak için aynı şartlara sahip olmamalarıdır. Eğer tahmini fayda birimi örneğin “Euro/rahatsız olan kişi sayısı/yıl” şeklinde düzenlenirse, bu kısıtlara takılmadan değerlendirme yapma imkanı oluşacaktır. Ancak ülkeler arasında basit birim transfer metodu doğrudan kullanılmamalıdır. Satınalma gücü paritesi (PPP) indeksi gibi bir karşılaştırma ile birim transfer değeri üzerinde gelir düzeyi düzeltilmesi yapılmalıdır. Her ne kadar gelir düzeyi dikkate alınsa da din, kültür, eğitim düzeyi gibi daha önce sayılan birçok parametre bu dönüşümde kullanılmamaktadır.

3.2. Fonksiyon transfer metodu

Fayda Fonksiyon transferi: Fayda değerinin kendisinin transfer edilmesinden fayda değerinin bulunmasında kullanılan fonksiyonun transfer edilmesi metodudur.

Meta Analizi: Sadece bir değerlendirme sonucunda elde edilen fayda fonksiyonunun transferinden, birçok değerlendirme çalışmasının sonucundan ortak bir fayda fonksiyonunun tahmin edilmesi metodudur.

4.2.2 Gürültü bariyerlerinin fayda maliyet analizi

Fayda-maliyet analizi (FMA), proje ömrü boyunca projedeki indirgenmiş girdilerin, diğer bir ifade ile kazanımların projenin indirgenmiş çıktılarına oranlanmasıdır. Girdi ve çıktılar yıllara sar-i olarak işlem gerektiriyorsa, tüm değerlerin bugünkü değerlere eşitlenmesi gerekmektedir (Bağıntı 4.1).

$$F/M = \frac{\sum_{t=0}^{m+n} \frac{F_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^{m+n} \frac{M_t}{(1+i)^t}} \quad (4.1)$$

F : Fayda

M : Maliyet

F_t : Projenin t yılındaki faydaları

M_t : Projenin t yılındaki maliyetleri

m : Proje inşaat süresi

n : Projenin ekonomik ömrü

i : Gerçek faiz oranı (Real Interest Rate) veya indirgeme oranı

“i” ile verilen gerçek faiz oranı piyasadaki faiz oranı kavramından farklıdır. Piyasada kullanılan faiz oranı 3 ana bileşenden oluşmaktadır:

- Enflasyon bileşeni: Bu bileşen alım gücündeki azalmayı göstermektedir.
- Risk bileşeni: Bu bileşen borcun geri ödenmemesi durumundaki riski ifade etmektedir.
- Gerçek faiz oranı: Risksiz faiz de denilen, paranın üretim değerini gösteren ve enflasyon bileşeninden bağımsız genellikle devlet tahvil ve bonosu faiz oranlarından enflasyon oranının çıkarılması ile elde edilen birleşendir.

İndirgeme oranını belirleyen unsurlar şunlardır;

- Borç alınan finansman kaynakları için ödenen faiz oranları
- Sermaye piyasasında geçerli olan faiz oranları (mevduat faizi, bono faizi vb)
- Benzer yatırım konularındaki kârlılık oranları.

Dış borçlanma, özkaynaklar, ticari kredi gibi birden fazla kaynak kullanılıyor ise, birden fazla indirgeme oranı bulunup, bunların ağırlıklı ortalaması alınarak tek bir indirgeme oranı elde edilmektedir.

Birçok çevre ekonomisti, fiyatların başlangıç yılına veya istenilen bir tarihe indirgenmesinde kullanılan ve indirim oranı (i) olarak verilen değerlerin hesaplarda kullanılmamasını veya çok düşük bir değer olarak ele alınması gerektiğini ifade etmektedir (Salverda & Hawkins, 2003).

Salverda ve Hawkins'e göre bunun nedeni olarak çevresel olayların etkilerinin uzun sürede ortaya çıkması ve uzun süre için yapılan indirgemedede elde edilen fayda değerinin oldukça düşük olmasıdır (2003). Örneğin, değeri 1000\$ olan sert ahşap üretiminde kullanılan tropik ağaçların yetişmesi için gereken süre yaklaşık 80 yıldır ve bu süre %8 lik bir indirgeme oranı kullanıldığında 1000 \$lık sert ahşap için 2\$ lık net bugünkü değer elde edilmektedir.

Fayda Maliyet analizinde nakit akış değerleri bugünkü fiyatları ifade etmektedir. Fakat bazı ülkelerde enflasyon önemli bir ekonomik etki olduğundan, istenildiği takdirde enflasyon değeri dikkate alınabilir. Bu durumda hem fayda hem de maliyet değerlerinin orantısal olarak arttırılması gerekmektedir (Salverda & Hawkins, 2003). Enflasyon dikkate alındığında yapılan hesaplamada en önemli zorluk proje ömrü boyunca oluşacak enflasyon oranlarının tahmin edilmesidir. Bu orantısal artış değeri enflasyon değeri dışında daha farklı bir parametreye bağlı olarak belirlenmiş ve sadece belli gider veya gelirler için belirlenmiş bir artış değeri de olabilir. Örneğin bir arazinin proje ömrü boyunca değerinin, her yıl normal enflasyon değerinden %2 daha fazla artıyor olması verilebilir (Sullivan, E., Dahlgren, J., Weisbrod, G., & Attaran, K. , 2008).

İndirgenmiş değerler kullanılarak elde edilen F/M oranı 1 ve üzerinde ise bu proje yatırım yapmaya değer anlamına gelir. Faydaların ve zararların orantısal olarak işleme tabi tutulabilmesi için her ikisinin de aynı değerli elemanlardan meydana gelmesi gerekmektedir. Parasal olarak girdi ve çıktıların bu denklemde kullanılması kolay iken bazı fayda veya maliyetlerin kullanılan birime, genellikle parasal birime, dönüştürülerek kullanılması gerekmektedir.

Bir projenin yatırım yapılabilir nitelikte olup olmamasında sadece F/M analizi kullanılmaz. Fizibilite çalışmalarında genellikle belli bir tarihe indirgeme tekniğine dayanan aşağıdaki metotlar da kullanılmaktadır.

- Net Bugünkü Değer (net present value) (NBD - NPV)
- İç Kârlılık Oranı (internal rate of return) (İKO - IRR)

- Fayda/Maliyet Oranı (benefit/cost ratio) (F/M - B/C)
- Geri Ödeme Süresi (payback period)

Avrupa’da gürültü bariyerlerinin ekonomik anlamda yatırım yapmaya değer olup olmadığının karar verilmesinde genel olarak proje analiz tekniklerinden biri olan FMA kullanılmaktadır (European Commission Working Group On Health And Socio-Economic Aspects, 2003).

Bir gürültü bariyeri için fayda maliyet analizi için fayda ve maliyet olarak temel girdiler şu şekilde özetlenebilir.

Maliyetler (bariyer inşa ve işletme maliyeti): Bariyerin inşa süresince harcanacak tüm kalemlere ait maliyetler ile bariyerin hizmet ömrü boyunca gerektirdiği bakım, onarım, yenileme gibi her türlü işletme maliyetini içermektedir. Genellikle sadece bu iki maliyet türü FMA’nın maliyet kısmı için kullanılmaktadır. Bu iki maliyet dışında sürücü ve çevre sakinleri için görsel kayıp nedeni ile oluşan huzursuzluk, aydınlık alan kaybı, bariyer nedeni ile bazı noktalara erişim kaybı, bariyer konumlaması ile gelen çevresel estetik kaybı gibi parasal olmayan maliyetler de bulunmaktadır. Bu çalışmada bu unsurlar ele alınmamıştır.

Belirlenen servis ömrü için bu aşamada kaplamalı ve kaplamasız beton bariyer tipleri için belirlenen literatür ömrüne göre (50 yıl), 1 km uzunluğunda inşa edilen bir gürültü bariyerinin hizmet ömrü boyunca meydana gelecek tamir bakım ve onarım giderleri işletme gideri olarak hesaplanarak, bugünkü değer (PW=Present Worth) cinsinden aşağıdaki formül (4.2) kullanılarak güncellenmektedir (Morgan, Kay, & Bodapati, 2001).

$$PW = ICC + \sum_{k=1}^n FC \left[\frac{1}{(1+i)^k} \right] \quad (4.2)$$

PW : Bugünkü değer (Present Worth)

ICC : Başlangıç inşa maliyeti (Initial Construction Cost)

FC : Bakım giderleri (Future Costs)

n : Hizmet ömrü (Number of years)

i : İndirgeme oranı

Gürültü bariyerleri bakım giderleri için gereken malzeme ve iş gücü birim fiyatları Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayınladığı pozlardan alınmıştır. Türkiye'de bariyer kullanımının henüz yaygınlaşmaması ve bu konuda bir veri tabanının olmamasından dolayı hesaplamalarda kullanılacak değişim, bakım gibi işlem sıklıkları için ise aşağıdaki kabuller dikkate alınacaktır (Morgan, Kay, & Bodapati, 2001)

- Değiştirme: Her 10 yılda 1 kez toplam bariyer uzunluğunun %1'inin değiştiği varsayılmaktadır.
- Genel Boyama: Grafiti (duvar yazıları) önleyici olarak uygulanan boyama aşamasıdır. Her 5 yılda 1 kez bariyer toplam alanının %1'inin boyandığı varsayılmaktadır.
- Koruyucu Boyama: Kendiliğinden desenli veya dokulu beton yüzeyler için boyama gerekmemektedir, ancak bariyer ömrünün yarısında (genellikle 25 yıl) bunların boyandığı varsayılır. Genel anlamda boyanan beton yüzeyler için boyama sıklığı 20 yıldır. Metal yüzeyler için ise 10 yıl dikkate alınmaktadır.
- Çim Biçme ve Arazi İşleri: Sadece toprak set bariyerler için geçerlidir. Yıllık olarak gerçekleştirilmektedir.

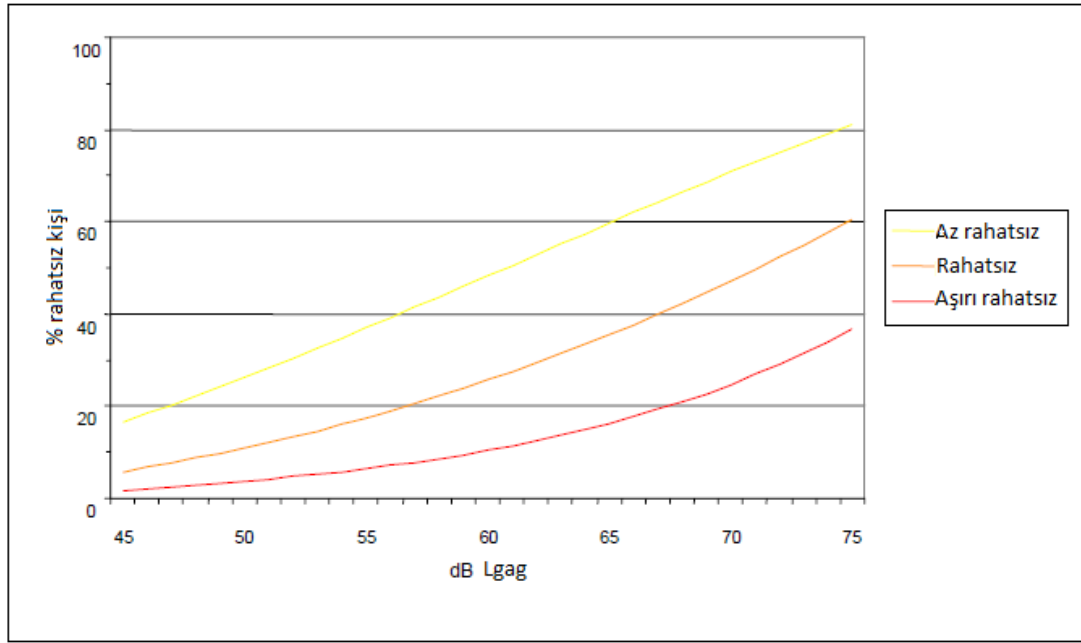
Faydalar (akustik konfor kazanımları): Bariyerin işletme ömrü boyunca, bariyerin konumlanması nedeni ile akustik olarak çevresel gürültü düzeyinde bir azalma meydana gelecektir. İletişimde anlaşılabilirlik, gürültü nedeni ile tetiklenen stres ve kalp rahatsızlıklarında azalma, ev içi akustik yaşam kalitesinin artması, dinginlik, eğitim veriminin artması, gürültü kaynaklı uykusuzluk problemlerinde azalma gibi akustik konforun getireceği birçok fayda bulunmaktadır. Bu faydaların parasal karşılığının bulunmasında daha önce de bahsedilen gürültünün ekonomik değerlendirilmesi metodlarından biri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Türkiye'deki gürültünün ekonomik analizi için ülke bazında bir çalışma yapılmadığından Avrupa Birliği ülkeleri tarafından Avrupa geneli için yapılan çalışma ve kabuller ile Fayda Transfer (BT) Metodu kullanılacaktır.

Avrupa'da $L_{A,eq}$ kullanan ülkeler olsa da, gürültüden rahatsız olan insan sayısını bulmak için genellikle L_{gag} kullanılmaktadır (CEDR, 2013). Gürültüden etkilenme oranı da her gürültü seviyesi için insanlar arasında farklılık göstermektedir. Bu nedenle öncelikle rahatsız olma miktarını gruplayarak tanımlamak gerekmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), çevresel etki değerlemesinde kullanılan “rahatsızlık (annoyance)” kavramının tanımını “bir gürültü ile başlatılmış hoşnutsuzluk hali” olarak tanımlamaktadır (WHO, 1980). Bu hoşnutsuzluk halini ülkeler farklı farklı kategorize etmektedirler ancak genel olarak “az rahatsız”, “rahatsız” ve “aşırı rahatsız” olarak 3 seviyede değerlendirilebilir.

Aşırı rahatsız olan kişiler genellikle yüksek gürültü seviyelerine maruz kalan ve bu gürültü sebebi ile gece uykudan uyanan, kan basıncı yükselen ve kalp rahatsızlığı bulunan kişilerdir. Aşağıda TNO (Hollanda) çalışanı olan Miedema ve diğ.nin L_{gag} gürültü seviyesine maruz kalan kişiler üzerinde oluşan rahatsızlık üzerine yaptığı bir çalışma bulunmaktadır (Miedema & Oudshoorn, 2001) (Şekil 4.4). Bu anket çalışması Avrupa, Kuzey Amerika ve Avustralya bölgelerini kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.4: Trafik gürültüsü sebebi ile rahatsızlık % kişi oranı ve gürültü seviyesi ilişkisi (Miedema & Oudshoorn, 2001).

Bu çalışmada Miedema ve diğ. aşağıdaki modelleri kullanmışlardır:

$$\%A = 1,795 \cdot 10^{-4} (L_{gag} - 37)^3 + 2,11 \cdot 10^{-2} (L_{gag} - 37)^2 + 0,5353 (L_{gag} - 37) \quad (4.3)$$

$$\%HA = 9,868 \cdot 10^{-4} (L_{gag} - 42)^3 + 1,436 \cdot 10^{-2} (L_{gag} - 42)^2 + 0,5118 (L_{gag} - 42) \quad (4.4)$$

%A : Rahatsız kişi yüzdesi (% Annoyed)

%HA : Aşırı rahatsız kişi yüzdesi (% Highly Annoyed)

4.3 Yapılan Modellemeye Göre Rahatsızlık Analizi

Daha önce yapılan çalışma ile mevzuata göre sınır değer üzerinde kalan kişi sayıları hesaplanmıştı, ancak insanların gürültü seviyelerine karşılık gelen rahatsızlık durumları birbirinden farklı olduğu için Miedema ve diğ.'nin yukarıda verilen modeli kullanılarak rahatsızlık analizi gerçekleştirilmiştir.

Rahatsızlık analizi 7m yüksekliğindeki perlit kaplamalı ve yansıtıcı bariyerlerden elde edilen değerler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Her bir L_{gag} aralığı için ortalama yüzde (%) rahatsızlık değeri yeniden hesaplanmıştır (Çizelge 4.3-4.5).

Çizelge 4.3: Miedema ve diğ. çalışmasının L_{gag} gürültü aralıklarına uyarlanması.

dB(A)	%A	%HA	ORT %A	ORT%HA
45	5,72	1,43	7,70	2,32
46	6,66	1,88		
47	7,64	2,32		
48	8,68	2,77		
49	9,77	3,22		
50	10,92	3,68	13,44	4,70
51	12,12	4,16		
52	13,38	4,67		
53	14,70	5,21		
54	16,08	5,78		
55	17,52	6,39	20,65	7,84
56	19,02	7,06		
57	20,58	7,78		
58	22,21	8,55		
59	23,90	9,40		
60	25,66	10,31	29,44	12,48
61	27,48	11,31		
62	29,37	12,39		
63	31,34	13,55		
64	33,37	14,82		
65	35,47	16,18	39,97	19,36
66	37,65	17,65		
67	39,90	19,24		
68	42,22	20,94		
69	44,62	22,77		
70	47,09	24,73	53,74	30,47
71	49,65	26,83		
72	52,28	29,07		
73	54,99	31,46		
74	57,78	34,01		
75	60,66	36,71		

Çizelge 4.4: Rahatsızlık analiz sonucu rahatsız ve aşırı rahatsız kişi sayıları tablosu.

Kişi sayısı ve yüzdesi								Lacivert
								Mavi
Bariyer		Yeşil	Sarı	Gri	Turuncu	Kırmızı	Bordo	Mor
0,3 yutum	7mt	45 altı	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70 üzeri
Lgag	kişi	0,0	59,3	42,3	32,0	34,5	26,8	15,3
Lgag	%	0,0	28,2	20,1	15,2	16,4	12,7	7,3
	%A kişi	0,00	4,56	5,68	6,61	10,16	10,69	8,20
	%HA kişi	0,00	1,38	1,99	2,51	4,30	5,18	4,65
0,01 yutum	7mt							
Lgag	kişi	0,0	50,5	30,5	31,0	33,1	42,4	22,5
Lgag	%	0,0	24,0	14,5	14,7	15,8	20,2	10,7
	%A kişi	0,00	3,88	4,10	6,39	9,75	16,96	12,09
	%HA kişi	0,00	1,17	1,43	2,43	4,13	8,22	6,86

Çizelge 4.5: Rahatsızlık analiz sonuçları ile limit gürültü değerleri üzerinde etkilenen kişi sayısı karşılaştırma tablosu.

Bariyersiz Durum	Kişi sayısı	% nüfus	Toplam kişi	Toplam %*
Lgag sınır değerine göre $\geq 63,2$ dB(A)	149	%70,7	149	%70,7
Lgag %A	72	%34,4	109	%51,9
Lgag %HA	37	%17,5		
7 mt Yansıtıcı Beton Bariyer	Kişi sayısı	% nüfus	Toplam kişi	Toplam %
Lgag sınır değerine göre $\geq 63,2$ dB(A)	82	% 38,8	82	% 38,8
Lgag %A	53	% 25,3	77	% 36,8
Lgag %HA	24	% 11,5		
7 mt Perlit Kaplamalı Yutucu Beton Bariyer	Kişi sayısı	% nüfus	Toplam kişi	Toplam %
Lgag sınır değerine göre $\geq 63,2$ dB(A)	59	% 28,2	59	% 28,2
Lgag %A	46	% 21,9	66	% 31,4
Lgag %HA	20	% 9,5		

* Örnek alandaki toplam kişi sayısı: 210

Tabloda 7m perlit kaplamalı gürültü bariyeri için yapılan incelemeden L_{gag} sınırı üzerinde kalan sayısından daha fazla sayıda kişinin rahatsız ve aşırı rahatsız kişi toplamına sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni Miedema ve diğ. çalışmasında bu değerin 45 dB(A) gibi daha düşük gürültü seviyeleri için de hesaplanıyor olmasıdır. Diğer bir ifade ile, mevzuatta verilen limite göre görece olarak daha düşük gürültü seviyesine maruz kalan insanlar da aşırı rahatsız veya rahatsız olabilirler. Bu durum limit değerlerden bağımsız olarak hesaplanmaktadır.

4.4 Yapılan Gürültü Modelleme Sonuçlarına Göre Perlitli Kaplama Uygulamasının Ekonomik Analizi

Gürültü bariyerlerinin inşasında karar vericiler açısından fizibilite anlamında değerlendirmeye alınabilecek çok fazla sayıda parametre bulunmamaktadır. Özellikle fayda kısmında sadece bariyer konumlandırılması sebebi ile oluşan gürültü azalması yer almaktadır. Bu da ekonomik olarak parasal bir değere dönüştürüldüğünde, etkilenen kişi sayısına bağlı olarak, genellikle büyük maddi karşılığı ortaya çıkmamaktadır.

Bu nedenle birçok gürültü bariyeri projesi tek başına ekonomik anlamda yatırım yapılabilir nitelikte değildir. Gürültü bariyerleri genellikle yeni bir otoyol inşası gibi büyük projelerin içerisinde toplam fayda ve maliyetler içerisinde değerlendirilmektedir. Mevcut yollar ve yapılar için ise genellikle mevzutın istediği değerleri sağlayabilmek ve çevrede yaşayan insanların hem aksutik hem de psikolojik anlamda rahatlaması adına yatırım yapılabilirliğine bakılmaksızın sosyal sorumluluk gereği yerel yönetim ve otoyol idareleri tarafından inşa olunmaktadır. Ancak bu ekonomik değerlendirme yöntemleri, gürültü bariyerleri için yatırım yapılabilir çıkmasa bile, birden fazla seçenek arasından en ekonomik çözümün bulunmasında da kullanılmaktadır.

Beton gürültü bariyerleri bilindiği üzere çevre şartlarına en dayanıklı bariyer tiplerindendir. Ayrıca diğer bariyer türlerine göre daha az bakım maliyetine sahiptirler. Beton gürültü bariyeri üzerine perlitli kaplama uygulaması gerçekleştirildiğinde elde edilecek kazanımlar fayda ile ifade edilecektir.

Ekonomik fizibilite etüdünde, proje konusu olan perlit esaslı gürültü bariyer kaplamasının yapılması durumunda ortaya çıkacak faydalar ve maliyetler genel ekonomi açısından değerlendirilmiştir. Bu amaçla, göz önüne alınan değerlendirme dönemi içinde, projenin yapılması (perlit kaplamalı gürültü bariyeri inşası) ve yapılmaması (perlit kaplamalı olmayan normal betonarme gürültü bariyeri inşası) durumlarındaki ekonomik maliyetler göz önüne alınarak, projenin yapılmasıyla ekonomik maliyetlerde ortaya çıkacak azalmalar projenin net faydası olarak hesaplanmıştır. Ekonomik değerlendirmede, projenin ekonomik net güncelleştirilmiş değeri (NPV, net present value), ekonomik iç verimlilik oranı (EIRR, economic internal rate of return) ve fayda / maliyet oranı (B/C, benefit /cost ratio) hesaplanmıştır.

Aşağıdaki tabloda (4.6) yutucu ve yansıtıcı bariyer tiplerinde hesaba katılan inşa ve işletme kalemleri ayrı ayrı gösterilmiştir. Bariyeri perlit kaplamanın maliyeti hesaplanırken, kaplama maliyeti ve gerektirdiği bakım işlemi maliyetinden, bu kaplamanın yapılması dolayısı ile yapılmayacak olan, genel boyama işlemi gibi yansıtıcı beton bariyere at bazı işlem maliyetleri çıkarılmıştır. Yansıtıcı beton gürültü bariyer inşa maliyeti için bariyere ait detaylı bir proje olarak çıkarılmamış olup Bakanlık tarafından yayımlanan yapı yaklaşık maliyetleri üzerinden benzeşim yapılarak dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6: İnşa ve işletme maliyetleri genel karşılaştırma ve işlem sıklığı tablosu.

İnşa ve işletme listesi	İşlem Sıklığı		7 mt Yansıtıcı Beton Bariyer	7 mt Perlit Kaplamalı Yutucu Beton Bariyer
	İNŞA	BAKIM		
Bariyer İnşa Maliyeti	1 kez	-	✓	✓
Kaplama İnşa Maliyeti	1 kez	-	-	✓(+)
Bariyer kısmi değişimi	-	10 yılda 1 kez Bariyer uzunlunun %1'i kadar	✓	✓
Kaplama kısmi değişimi	-	Yılda 1 kez Bariyer uzunlunun %5'i kadar ¹	-	✓(+)
Bariyer genel boyama	-	20 yılda 1 kez Bariyer alanının tamamı	✓(-)	-
Kaplama genel boyama	-	-	-	-
Bariyer koruyucu boyama (grafiti gibi)	-	5 yılda 1 kez Bariyer alanının %1'i kadar	✓(-)	-
Kaplama koruyucu boyama (grafiti gibi) ²	-	-	-	-
Kaplama tıkanıklık temizliği (vakumlu süpürge)³	-	Her yıl 2 kez	-	✓ (+)
Bariyer çevresi temizliği	-	5 yılda 1 kez	✓	✓
¹ Literatürde yer alamayan, tasarlanan perlitli kaplama malzemesine ait kabul ² Kendiliğinden desenli veya dokulu yüzeyler için koruyucu boyama gerekmemektedir. ³ Yıkama yapılması durumunda tıkanıklık zamanla daha fazla ve kalıcı hale gelmektedir. Bu nedenle vakumlu temizleme yöntemi seçilmiştir. (+) Maliyet toplamına girecek kalemler (-) Kaplama nedeni ile gerçekleştirilmesine gerek duyulmayacağından maliyet toplamından çıkarılacak kalemler				

Tez konusu alanda kullanılan bariyer uzunluğu 80 m dir. Yapılacak maliyet hesapları 80 m bariyer üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Maliyetler 2013 yılı sabit fiyatları ile Amerikan Doları (\$) cinsinden hesaplanmıştır. TL (Türk Lirası) olarak hesaplanan değerler, T.C. Merkez Bankası 2013 yılı aylık ortalama dolar kuru üzerinden hesaplayarak, yıllık ortalama yaklaşık 1 \$ = 1.91TL dolar kuru esas alınarak dolar değerine dönüştürülmüştür. Aynı şekilde Euro/Dolar paritesi 2013 yılı için ortalama **1,33** olarak hesaplanmıştır.

4.4.1 Fayda hesabı

Perlitli kaplama işleminin gerçekleşmesi öncesinde ve sonrasında rahatsız olan ve aşırı rahatsız olan toplam kişi sayıları arasındaki fark perlitli kaplamanın akustik olarak ne kadar kişiyi rahatsız olma durumundan kurtardığına dair bir göstergedir. Bu ifade “para birimi”/“(aşırı) rahatsız olan kişi sayısındaki değişim”/“süre” olarak verilmektedir. Buradaki fayda hesabında perlitli kaplama yapılması öncesinde ve sonrasında “(aşırı) rahatsız olan kişi” sayıları arasındaki fark, daha önce verilen rahatsızlık analiz sonuçları ile limit gürültü değerleri üzerinde etkilenen kişi sayısı karşılaştırma tablosundan elde edilmiştir.

Çizelge 4.7: Rahatsızlık analiz sonuçları ile limit gürültü değerleri üzerinde etkilenen kişi sayısı farkı tablosu.

Kişi sayısı	7 mt Yansıtıcı Beton Bariyer	7 mt Perlit Kaplamalı Yutucu Beton Bariyer	Δ Fark (kişi sayısı)
Lgag sınır değerine göre $\geq 63,2$ dB(A)	82	59	23
Lgag %A	53	46	7
Lgag %HA	24	20	4
Lgag %HA+%A	77	66	11

Avrupa Komisyonu Sağlık ve Sosyo-ekonomik Çalışma Grubu, Avrupa bazında yapılan bir çalışmada çevre gürültüsü azaltım ortalama değerinin 25,8 Euro Hane/desibel/yıl ve orta değer 23,5 Euro hane/desibel/yıl olarak elde edildiğini ve bu tarz çalışmalarda gürültü azaltılmasından elde edilen fayda için 25 Euro hane/desibel/yıl değerinin kullanılmasını tavsiye etmektedir (2003).

Avrupa’da 6. Çerçeve programı çerçevesinde 2002-2006 yılları arasında tamamlanan HEATCO (Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment) Projesinde ise gürültü rahatsızlık seviyesine göre elde edilen parasal değerler aşağıdaki çizelgede (4.8) verilmektedir (HEATCO , 2006):

Çizelge 4.8: Karayolu gürültüsü için önerilen ekonomik değer tablosu.

Rahatsızlık Kategorisi	Euro/rahatsız kişi/yıl (2006 yılı)	Euro/rahatsız kişi/yıl (2013 yılı güncelleme)*
Aşırı Rahatsız (Highly Annoyed)	85	101
Rahatsız (Annoyed)	85	101
Az Rahatsız (Little Annoyed)	37	44
Rahatsız Değil (Not Annoyed)	0	0
* Avrupa Merkez Bankası verilerine göre 2006-2013 yılları arası ortalama enflasyon oranı yaklaşık %2,5 olarak alınmıştır.		

Verilen değer doğrudan kullanılmasındaki sakıncadan dolayı Avrupa genelinden elde edilen tekil değer transferinde Gayrisafi Yurtiçi Hasıla (GYİH) oranları kullanılarak bu değer Türkiye için adapte edilmiştir. Avrupa Birliği'nin satınalma gücü paritesinden (PPP) elde edilen GYİH 2013 yılı değeri ve Türkiye'nin GYİH değerleri aşağıda (4.9) verilmektedir:

Çizelge 4.9: GYİH 2013 değerleri (IMF, 2014) ve oran tablosu.

Ülke/Birlik	US Dolar
Avrupa Birliği	30.736
Amerika	53.101
Türkiye	15.353
Türkiye/AB GYİH Oranı (%)	% 50
Türkiye/ABD GYİH Oranı (%)	% 29

Bu durumda 2013 yılı verilerine güncelleme yapıldığında, aşırı rahatsız ve rahatsız kişilerin sayısındaki azalma için 101 Euro/rahatsız kişi/yıl olarak verilen gürültünün ekonomik değeri Türkiye için yaklaşık 50,5 Euro/rahatsız kişi/yıl olarak elde edilmektedir. Bu değer Euro/Dolar parite dönüşümü yapıldığında yaklaşık 67,2 \$/rahatsız kişi/yıl olarak elde edilmektedir.

4.4.2 Gürültü bariyeri inşa maliyeti

Bu bölümde kıyaslama açısından yurtiçi ve yurtdışı beton gürültü bariyeri imalatına ait analiz bölümü verilmektedir.

Amerikan Federal Karayolu İdaresi (FHWA) tarafından hazırlanan 2010 yılı verilerine dayalı olarak bariyer yüksekliğine bağlı olarak bariyer tipinin birim fiyatı aşağıdaki Tabloda (4.10) verilmektedir (FHWA, 2010):

Çizelge 4.10: Malzeme ortalama birim maliyet tablosu.

Yükseklik	Beton	Blok	Ahşap	Metal	Toprak Set	Tuğla	Komb.	Yutucu	Tüm Malz.
≥30 feet	100	5	36	17	9	0	100	0	267
27-29 feet	30	0	0	0	0	0	17	27	27
24-26 feet	21	13	23	22	3	0	14	17	21
21-23 feet	32¹	0	35	0	4	0	16	24	30
18-20 feet	32	30	16	15	12	23	21	26	28
15-17 feet	29	27	21	17	6	30	19	34	26
12-14 feet	29	23	22	16	6	34	23	27	26
9-11 feet	31	26	19	26	6	36	23	42	26
6-8 feet	24	21	22	21	8	36	25	23	22
<6 feet	48	3	2	2	9	0	1	0	66
* Tüm fiyatlar 2010 \$/Square Feet olarak verilmiştir.									
¹ 344\$/m ²									

Bu tabloya göre 7 mt beton bariyer için ortalama birim inşa maliyeti, yıllık enflasyon oranı Amerika için yaklaşık %2 olarak kabul edilerek, fiyat güncellemesi yapıldığında, 2013 yılı için yaklaşık 365 \$/m² olmaktadır.

Avrupa geneli için, gürültü bariyeri ile ilgili bariyer türüne bağlı olarak verilmiş detaylı bir maliyet çalışması veri tabanı bulunmamaktadır. Avrupa Yol Yöneticileri Birliği (Conference of European Directors of Road - CEDR) üyesi olan ülkelerin %80’inde gürültü bariyerlerinin bakımı ile ilgili bir prosedürü bulunmamaktadır. Maliyetler ülkeden ülkeye değişse de genel olarak inşa maliyeti olarak 400€/m² ve bakım maliyeti olarak da 77€/m (yükseklikten bağımsız) alınması tavsiye edilmektedir (CEDR, 2013). T.C. Merkez Bankası 2013 yılı ortalama Euro/Dolar paritesine göre Avrupa için inşa maliyeti yaklaşık olarak 532 \$/m² ve genel bakım maliyeti 102 \$/m hesaplanmaktadır.

Türkiye’de gürültü bariyerlerinin inşa ve bakım maliyetleri ile ilgili herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu konuda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın her yıl yayımladığı yapı yaklaşık birim maliyet cetveli değerlendirilebilir. 2013 yılında yayımlanan maliyet cetveline göre, 2-A grubu yapılar olan “palplanjlı ve ankrajlı perde ve istinat duvarları” ile gürültü bariyerleri yapısal olarak benzeştirilerek 2-A grubundaki “ve benzeri diğer yapılar” başlığı altında incelenebileceği düşünülmüştür. Buna göre yapı birim yaklaşık maliyeti istinat duvarları için 235 TL/m² (yaklaşık 123 \$/m²) olarak verilmiştir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2013).

Beton gürültü bariyeri inşa maliyeti Amerika için 365 \$/m² (Transfer Metodu ile Türkiye için 100 \$/m²), Avrupa için 530 \$/m² (Transfer Metodu ile Türkiye için 265 \$/m²) ve Türkiye için 123 \$/m² olarak elde edilmektedir. Hesaplarda gürültü bariyeri inşa maliyeti olarak **123 \$/m²** değeri kullanılacaktır.

4.4.3 Perlitli kaplama inşa maliyeti

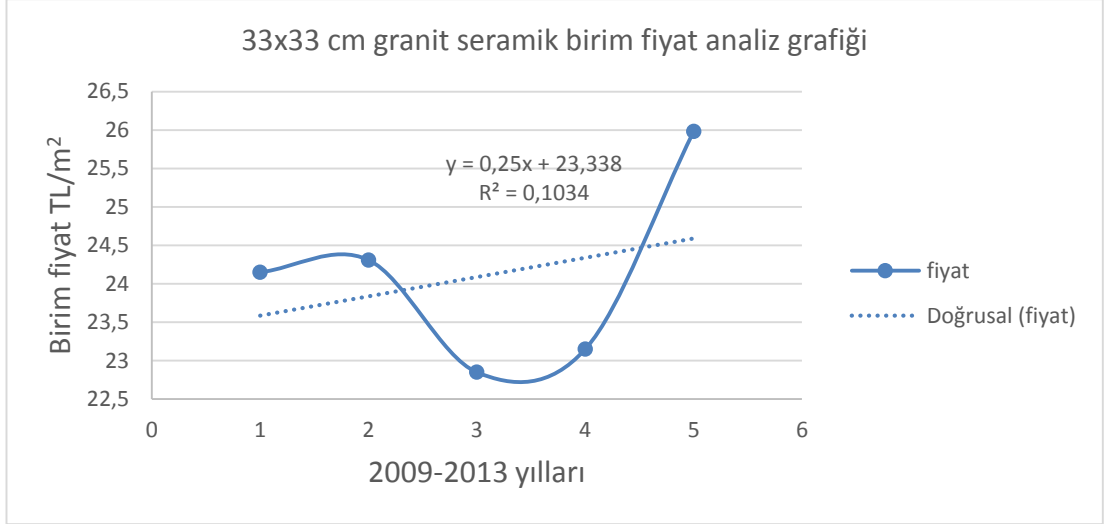
Perlitli kaplama malzemesine yakın ürünler incelendiğinde, 33x33 cm granit seramik kaplama malzemesinin (Bakanlık Poz No: 26.007-103C Açıklama: 33x33cm düz yüzeyli, her renk desenli sırlı porselen (granit) karo ile fugalı duvar ve cephe kaplama yapılması) fiyat davranışı ile örtüşen yıllara sar-i fiyat değişikliği olacağı öngörülmüştür. Bu malzemenin seçilmesindeki bazı temel hususlar şunlardır:

- Her iki ürünün imalatında doğal kaynakların (kil ve perlit) kullanılması
- Granit seramik malzemesinin 2009 yılında Bakanlık birim fiyat cetveline giren, diğer yapı malzemelerine nispeten yeni bir ürün olması
- Seramik sektörünün hızlı ve seri üretim teknolojisine sahip olması
- Her iki ürünün de imalatında yüksek sıcaklık işleminin yer alması
- Her iki ürün için de öngörülen imalat boyutlarının benzer olması (yaklaşık 30x30 cm)
- Her iki nihai ürününün de kırılğan ve hassas yapıda olması (Taşıma ve montaj maliyetleri açısından).

Çizelge 4.11 granit seramik ürüne ait ürün fiyat değişim tablo ve Şekil 4.5de grafiği bulunmaktadır.

Çizelge 4.11: 33x33 cm ebatlı granit seramik birim fiyat değişim tablosu.

Yıl	2009	2010	2011	2012	2013
TL/m ²	24,15	24,31	22,85	23,15	25,98



Şekil 4.5: 33x33 cm ebatlı granit seramik birim fiyat değişim grafiği.

Perlitli kaplama malzemesinin seri üretim yapılabilmesi için detaylı bir maliyet analizi ayrı bir çalışma konusu olabilecek niteliktedir. Bu nedenle perlit kaplama malzemesinin birim fiyatının seri üretim halinde granit seramik gibi değişim gösterdiği ve birim fiyatının yaklaşık 25,98 TL/m² (yaklaşık 13,6 \$/m²) olduğu kabul edilmiştir.

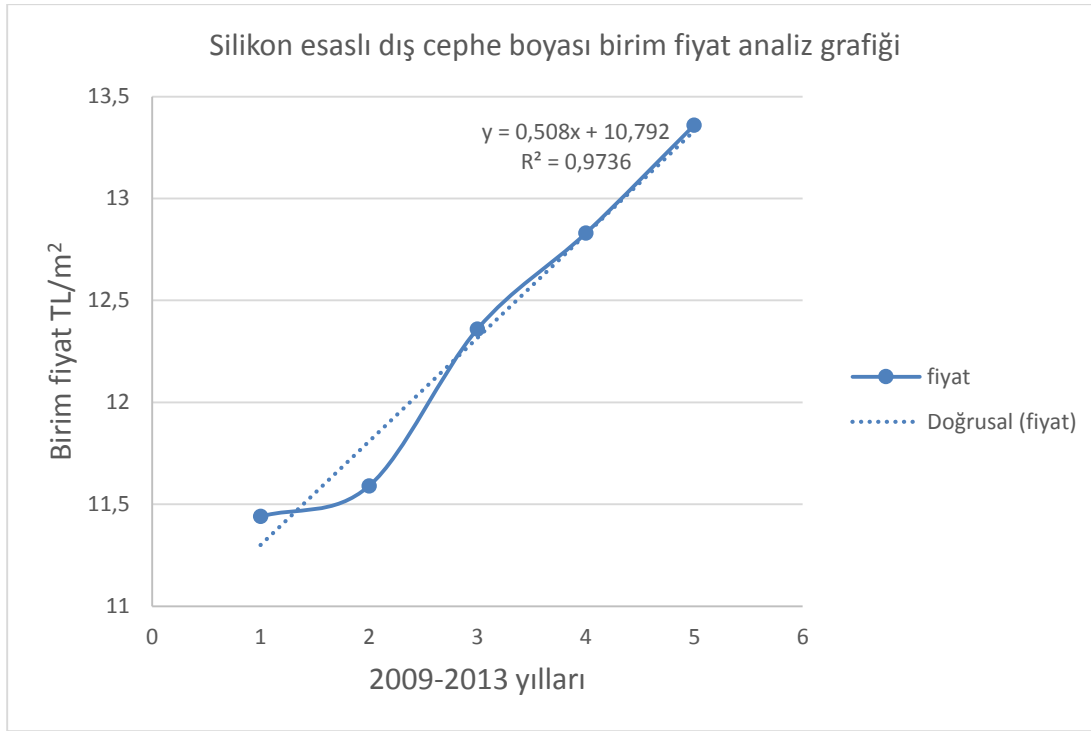
Bu durumda perlitli inşa malzemesinin imalat maliyeti için belirli bir birim fiyat seçilmiş olup bu değer değişiminin FMA'ne etkisi diğer bir bölümde (duyarlılık analizi) ayrıca işlenmiştir.

4.4.4 Bariyer boyama maliyeti

Üzerinde perlitli kaplama olmayan yansıtıcı beton gürültü bariyerinin hem genel boyama hem de grafiti gibi estetik bozuklukları gidermek amacı ile uygulanan koruyucu boyama için silikon esaslı dış cephe boyası (Poz No: 27.560/7 Açıklama: Silikon esaslı dış cephe boyası (su bazlı) yapılması) seçilmiştir. Aşağıda (4.12) silikon esaslı dış cephe boyasının son 5 yıldaki birim fiyat değişim tablosu ve grafiği (4.6) bulunmaktadır.

Çizelge 4.12: Silikon esaslı dış cephe boyası (su bazlı) yapılması işine ait birim fiyat değişim tablosu.

Yıl	2009	2010	2011	2012	2013
TL/m2	11,44	11,59	12,36	12,83	13,36



Şekil 4.6: Silikon esaslı dış cephe boyası birim fiyat değişim grafiği.

Üzerinde perlitli kaplama bulunmayan beton gürültü bariyerinin boyanması işi birim fiyatının yaklaşık 13,36 TL/m² (yaklaşık 7,0 \$/m²) olduğu kabul edilmiştir.

4.4.5 Perlit kaplama plakası tıkanıklık temizleme maliyeti

Üzerinde perlitli kaplama olan yutucu beton gürültü bariyerinin yutuculuk oranı yıllara göre trafik kaynaklı kirleticilerden dolayı gözeneklerin tıkanması ile düşmektedir. Bu durumda başlangıç yılında elde edilen akustik performans yıllar geçtikçe azalmakta ve bariyerin akustik performansı da giderek bozulmaktadır. Bu durum poroz beton ve poroz asfalt olarak da kullanılan yol yüzey kaplama malzemelerinde de meydana gelmektedir. Yol yüzeyi hem vakumlanıp hem de basınçlı su ile yıkanarak gözenekler ve gözenekler arası kanalların açık kalması sağlanmaya çalışılmaktadır. Dikey konumlanmış gürültü bariyerinin tıkanması, kirleticilerin araç lastikleri ile taşınması daha kolay olduğundan, poroz asfalt veya poroz betona göre daha zordur. Burada perlitli kaplama malzemesinin tıkanmasına sebep olabilecek belli başlı hususlar şunlar olabilir;

- Taşıt egsoz emisyonlarından kaynaklanan kirletici partiküller
- Araçların çamurlu su sıçratması

- Kar kürüme araçlarının kirli kar yığınlarını yol kenarındaki bariyere doğru kürümesi
- Yük taşıyan araçlardan dökülebilecek kirletici malzemeler
- Kuş, böcek ve bitkiler tarafından taşınan malzemeler ile sarmaşık tipi bitkilerin kaplamayı örtmesi.

Birim maliyet çalışmalarında Karayolları Genel Müdürlüğü'nün yayımladığı birim fiyat cetvelinde yer alan benzer işlerden faydalanılmıştır. Yol süpürgesinin yol yüzeyi üzerinde gerçekleştirdiği temizlik işlemi (Poz No: KGM/03.554/1 Açıklama: Süpürge makinasının (Vakumlu) 1 saatlik ücreti (Yaklaşık 130 HP+81HP gücünde)) benzer işlem olarak seçilmiştir. Aşağıdaki tablodan (4.13) da görüleceği üzere birim fiyat cetveline bu iş kalemi 2012 yılında alınmıştır.

Çizelge 4.13: Yol süpürme makinası işletme birim fiyat tablosu.

Yıl	2009	2010	2011	2012	2013
TL/saat	-	-	-	139,36	149,68

Verilen birim fiyat ücreti TL/saat bazında verilmiş olduğundan bunun bariyer üzerindeki işlemlere uygulanabilmesi için TL/m² cinsine çevrilmesi gerekmektedir. Bu noktada seçilen aracın dikey konumlanmış bariyeri temizleyebilmesi için aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- Seçilen araç ile 1 saatte 400 m² bariyer alanı temizlenebilmektedir.
- Araç yol-bariyer mesafesi olan 4 m mesafede rahatlıkla engelsiz bir şekilde çalışabilmektedir.
- Aracın bariyer yüksekliği olan 7 m'ye ulaşabilecek uygun donanımı mevcuttur.
- Araç 1 seferde yaklaşık 400 m² bariyer alanını süpürüp yıkamaya yetecek kadar atık haznesi ve su deposuna sahiptir.

Perlitli kaplama malzemesinin 1 saatte gerçekleştirebileceği temizlenme alan miktarı değiştikçe maliyet de değişecektir. Temizlenme alanı ise temizleme süresini belirleyen araç temizleme kapasitesi ile operatöre bağlıdır. Bu iş kalemi içinde aracın çalışması için gerekli olan yakıt, aracın kendi amortisman değeri ve bir adet operatör makinist ve bir adet operatör yardımcının maliyetleri yer almaktadır. Bu durumda perlitli inşa malzemesinin vakumlu makine ile temizlenmesi maliyeti için belirli bir birim fiyat seçilmiş olup bu değer değişiminin FMA'ne etkisi diğer bir bölümde (duyarlılık analizi) ayrıca işlenecektir.

Yurtdışında özellikle araç park sahalarında kullanılan poroz asfalt ve poroz beton asfalt kaplamaların vakum makinesi ile yılda 3-4 kez temizlenme sıklığı ile temizleme maliyeti 2000m² lik bir park alanı için 400\$-500\$ olarak verilmektedir (WisDOT Research & Library Unit, 2012). Bu durumda tek seferde yapılacak bir işlem için birim fiyat yaklaşık 0,2 \$/m² (yaklaşık 0,38 TL/m²) olarak hesaplanmaktadır.

Türkiye'deki temizleme işleminin de yapılan kabuller çerçevesinde birim fiyatı yaklaşık 0,38 TL/m² (yaklaşık 0,2 \$/m²) olduğu hesaplanmıştır.

4.4.6 Yıllık enflasyon oranının belirlenmesi

Uzun süreli tahmin modellerinde kullanmak üzere projelerde alınması öngörülen 2015, 2020 ve 2050 yılları için enflasyon oranlarının farklı kaynaklarda farklı değerlerine rastlamak mümkündür.

Trading Economics Firmasının enflasyon tahminlerine göre 2015 yılı için %7,86, 2020 yılı için %4,02 ve 2030 yılı için %4,08 değerleri öngörülmektedir (Url-5).

İngiliz Pwc Firması ise enflasyon tahminini 2015 yılı için %6,1 ve 2020'ye kadar da %4,8 olarak vermektedir (Url-4).

Türkiye'deki Ulaşım Altyapısının Değerlendirilmesi için Teknik Destek (Technical Assistance to Transportation Infrastructure Needs Assessment - TINA) başlığı ile hazırlanan Avrupa Birliği projesinde ise bu değerler 2015 yılı için %6, 2023 yılı için %4 ve 2050 yılı için de %3 olarak verilmektedir (Mueller, 2007).

Bu verilerden yola çıkarak bu çalışmadaki fiyat güncellemeleri aşağıdaki tabloda (4.14) yer alan tarihlere karşılık gelen değerler ile yapılacaktır:

Çizelge 4.14: Türkiye için tahmini uzun dönem enflasyon değerleri.

Yıllar	2015	2020	2030	2050	2050 sonrası
Enflasyon Oranı	%6,0	%5,0	%4,0	%3,0	%2,0

4.4.7 Faydanın net bugünkü değere çevrilmesi

Verilen bu değerlere göre Fayda Transfer Metodu (Basit Birim Transferi Metodu) uygulandığında elde edilen gürültünün ekonomik fayda değeri hesabı EK B’de verilmektedir. Fayda değeri özet tablosu (4.15) şu şekilde verilebilir:

Çizelge 4.15: Perlitli kaplama ile elde edilen gürültü azaltımının indirgenmiş fayda değeri tablosu.

Durum	Kişi sayısı %HA+%A	Δ Fark (%HA+%A kişi sayısı)	50 yıl için indirgenmiş fayda değeri (US \$) ¹	50 yıl için kaplamanın fark fayda değeri (US \$) ²
Bariyersiz	109	-	-	-
Yansıtıcı 7m bariyer	77	32	148.777 \$	-
Yutucu 7m bariyer	66	43	199.919 \$	51.142 \$

¹ 50 yıl için her bir durumun bariyersiz duruma göre toplam fayda fark değeri
² 50 yıl için perlit kaplamalı durumun yansıtıcı bariyer durumuna göre ek fayda fark değeri

4.4.8 Maliyetlerin net bugünkü değere çevrilmesi

Maliyet hesabında Türkiye’deki yapım işlerine ait malzemelerdeki fiyatlar referans olarak alınmış ve daha önce verilen 50 yıllık enflasyon oranları üzerinden hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Yapılan maliyete ait kabuller ve değerler (2013 yılı) özeti aşağıda sıralanmaktadır:

Bariyer inşa maliyeti	123 \$ /m ²
Perlit kaplama maliyeti	13,6 \$/m ²
Perlitli kaplama tıkanıklık temizleme	0,2 \$/m ²
Bariyer genel ve koruyucu boyama	7,0 \$/m ²

Diğer genel kabuller özeti aşağıda sıralanmaktadır:

Bariyer ömrü	50 yıl
Bariyer uzunluğu	80 m
Bariyer yüksekliği	7,0 m
Perlit kaplama yenileme sıklığı	Yılda 1 kez toplam alanın %5’i
Tıkanıklık temizlik sıklığı	Yılda 2 kez

Bariyer genel boyama sıklığı	20 yılda 1 kez
Bariyer koruyucu boyama sıklığı	5 yılda 1 kez toplam alanın %1'i
Bariyer kısmi değişimi	10 yılda 1 kez toplam alanın %1'i
Bariyer çevresel temizliği ve genel bakım	Yılda 1 kez (Maliyet: 51,1 \$/m)

Verilen bu değerlere göre elde edilen gürültünün ekonomik maliyet değeri tabloları EK C'de verilmektedir.

Yapılan maliyet hesapları aşağıdaki 3 durum için gerçekleştirilmiştir.

Durum 1: Bariyersiz duruma göre yansıtıcı BA bariyer inşası durumu

Durum 2: Bariyersiz duruma göre perlit kaplamalı BA bariyer inşası durumu

Durum 3: Yansıtıcı bariyerli duruma göre perlit kaplama inşası durumu

$$\Delta \sum_{t=0}^{50} M_t = \sum_{t=0}^{50} M_{pk} - \sum_{t=0}^{50} M_{yb} \quad (4.5)$$

M_t : Toplam net maliyet (durum 3)

M_{pk} : Perlit kaplamalı gürültü bariyeri maliyeti

M_{yb} : Yansıtıcı bariyer maliyeti

Maliyet değerleri özet tablosu şu şekilde verilebilir:

Çizelge 4.16: İndirgenmiş maliyet değerleri tablosu.

Durum	İndirgenmiş maliyet değeri (US \$) ¹	Perlit esaslı kaplamanın fark maliyet değeri (US \$) ²
Bariyersiz	-	-
Yansıtıcı 7m bariyer	143.062 \$	-
Yutucu 7m bariyer	180.482 \$	37.420 \$
¹ 50 yıl için her bir durumun bariyersiz duruma göre toplam maliyet fark değeri		
² 50 yıl için perlit kaplamalı durumun yansıtıcı bariyer durumuna göre ek maliyet fark değeri		

4.5 Fayda-Maliyet Analizi

Beton gürültü bariyerinin inşası ile beton gürültü bariyerinin perlitli kaplama olarak inşasının fayda maliyet analizi bu bölümde gerçekleştirilmiş olup, ayrıca her iki durumun birbiri ile kıyaslaması da gerçekleştirilmiştir. Perlitli kaplama malzemesi için elde edilen F/M ve İKO oranı Çizelge 4.17'de verilmektedir. Perlitli kaplama malzemesi için elde edilen NBD ise Çizelge 4.18'de verilmektedir.

Çizelge 4.17: Perlitli kaplama malzemesi için elde edilen F/M ve İKO oranı tablosu.

Durum	50 yıl için fayda değeri [\$]*	50 yıl için maliyet değeri [\$]*	F/M değeri**	İKO***
7m yutucu bariyer inşası durumu	199.919	180.482	1,11	%3,5
7m yansıtıcı bariyer inşası durumu	148.777	143.062	1,04	%2,9
Yansıtıcı Bariyerin Yutucuya çevrilmesi durumu	51.142	37.420	1,37	%6,9
* İndirgenmiş fayda ve maliyet değerleri ** F/M analiz değerinin $\geq 1,0$ olması projenin uygulanabilir olduğunu göstermektedir. *** İndirgenmemiş fayda maliyet nakit akış değerlerinden elde edilmiştir. İKO değerinin indirgeme oranı olarak seçilen %2,5 dan fazla olması, projenin uygulanabilir olduğunu göstermektedir.				

Çizelge 4.18: Perlitli kaplama malzemesi için elde edilen NBD tablosu.

Durum	50 yıl için fayda değeri [\$]*	50 yıl için maliyet değeri [\$]*	NBD [\$]**
7m yutucu bariyer inşası durumu	199.919	180.482	19.437
7m yansıtıcı bariyer inşası durumu	148.777	143.062	5.715
Yansıtıcı Bariyerin Yutucuya çevrilmesi durumu	51.142	37.420	13.722
* İndirgenmiş fayda ve maliyet değerleri ** NBD'in >0 olması projenin uygulanabilir olduğunu göstermektedir.			

4.6 Duyarlılık Analizleri

Duyarlılık analizinde bir doğrusal programlama denkleminde belirlenen katsayıların değerlerinin değişmesi sonucunda, elde edilen optimum çözümün nasıl değişeceği incelenmektedir.

Bu bölümde yukarıda alınan bazı kabul değerlerinin değişimlerinin fayda maliyet analiz sonuçlarında ne gibi değişimlere yol açacağı incelenmiştir.

4.6.1 Perlitli kaplama inşası birim fiyatının duyarlılık analizi

Perlitli kaplama inşa maliyeti birim fiyatının $13,6 \text{ \$}/\text{m}^2$ den başlayarak %10 - %20 arasındaki artış yönündeki değişiminin öngörüldüğü çalışmada bariyersiz duruma göre F/M oranının değişimi ile mevcut bir yansıtıcı bir bariyer üzerine perlitli kaplama uygulanması durumundaki F/M oranındaki değişim incelendiğinde ise aşağıdaki sonuçlar (Çizelge 4.19) elde edilmektedir.

Çizelge 4.19: Perlitli kaplama malzemesi inşasındaki artışa karşılık bariyersiz ve yansıtıcı bariyerli durumlarda elde edilen F/M oranı tablosu.

Perlitli Kaplama İnşası % Maliyet Artış	Yeni Kaplama Maliyet [\$]	Perlit kaplamalı BA bariyer inşası durumu	Yansıtıcı bariyerli duruma göre perlit kaplama inşası durumu
		F/M	F/M
%10	8.377,6	1,10	1,34
%15	8.758,4	1,10	1,33
%20	9.139,2	1,10	1,31

4.6.2 Kaplama tıkanıklık temizleme maliyetinin duyarlılık analizi

Kaplama malzemesinin temizlenmesine ait birim fiyatının değişiminin F/M analiz sonuçlarını nasıl etkilediği aşağıda (Çizelge 4.20) verilmiştir.

Çizelge 4.20: Perlitli kaplama malzemesi tıkanıklık temizleme maliyetindeki artışa karşılık bariyersiz ve yansıtıcı bariyerli durumlarda elde edilen F/M oranı tablosu.

% Maliyet Artış	Tıkanıklık Temizlik Maliyet [\$]	Perlit kaplamalı BA bariyer inşası durumu	Yansıtıcı bariyerli duruma göre perlit kaplama inşası durumu
		F/M	F/M
%10	17.047,4	1,10	1,31
%15	17.822,3	1,09	1,29
%20	18.597,2	1,09	1,26

4.6.3 Perlitli kaplama temizleme sıklığının duyarlılık analizi

Kaplama temizleme sıklığı yılda 2 kez olarak hesaplara katılmıştır. Yıllık temizleme sıklığının değişmesi durumunda Fayda/Maliyet analizinde aşağıdaki (4.21) değişim elde edilmektedir.

Çizelge 4.21: Perlitli kaplama malzemesi tıkanıklık temizleme sıklığının artmasına karşılık temizleme maliyetindeki artışın bariyersiz ve yansıtıcı bariyerli durumlarda elde edilen F/M oranı tablosu.

Sıklık	Tıkanıklık Temizlik Maliyet [\$]	Perlit kaplamalı BA bariyer inşası durumu	Yansıtıcı bariyerli duruma göre perlit kaplama inşası durumu
		F/M	F/M
x1	7.749	1,16	1,72
x2	15.498	1,11	1,37
x3	23.246	1,06	1,13
x4	30.995	1,02	0,97

4.6.4 Perlitli kaplama alanı değişim yüzdesinin duyarlılık analizi

Yutucu özellikteki perlit kaplamalı gürültü bariyerinin her yıl %5 oranındaki bölümünün değiştirilmesi öngörülmüştür (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22: Perlitli kaplama alanında değişim yüzdesinin bariyersiz ve yansıtıcı bariyerli durumlarda elde edilen F/M oranı tablosu.

Kaplama Yıllık % Alan Değişimi	Perlitli Kaplama Alanında Değişim Maliyeti [\$]	Perlit kaplamalı BA bariyer inşası durumu	Yansıtıcı bariyerli duruma göre perlit kaplama inşası durumu
		F/M	F/M
%6	31.615	1,08	1,20
%7	36.884	1,05	1,07
%8	42.154	1,02	0,96
%9	47.423	0,99	0,87
%10	52.692	0,97	0,80

4.6.5 Betonarme gürültü bariyeri inşa maliyet artışı duyarlılık analizi

Çalışmada betonarme gürültü bariyeri inşa maliyetinde %5-%20 oranında artış öngörüldüğünde F/M oranındaki değişim incelenmiştir (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23: Betonarme gürültü bariyeri inşa maliyetindeki % artışına karşılık F/M oranı değişimi tablosu.

Bariyer İnşa Maliyeti % Artış	Doğrudan BA bariyer inşası durumu	Doğrudan perlit kaplamalı BA bariyer inşası durumu
	F/M	F/M
%0	1,04	1,11
%5	1,01	1,09
%10	0,99	1,06
%15	0,97	1,04
%20	0,94	1,02

4.6.6 Bariyer genel bakım ve çevresel temizlik sıklığının duyarlılık analizi

Hem yansıtıcı hem de yutucu özellikteki bariyerlerin yükseklikten bağımsız çevresel temizlik ve genel bakımındaki temizleme sıklığı için 5 yılda 1 kez yapılan çalışmanın, sıklığının değiştirilmesi sonucu Fayda/Maliyet analizindeki oluşacak etki aşağıdaki tabloda (4.24) verilmektedir.

Çizelge 4.24: Perlitli kaplama malzemesi tıkanıklık temizleme sıklığının artmasına karşılık temizleme maliyetindeki artışın bariyersiz ve yansıtıcı bariyerli durumlarda elde edilen F/M oranı tablosu.

Sıklık	Genel Bakım ve Çevresel Temizlik Maliyeti [\$]	Yansıtıcı BA bariyer inşası durumu	Perlit kaplamalı BA bariyer inşası durumu	Yansıtıcı bariyerli duruma göre perlit kaplama inşası durumu
		F/M	F/M	F/M
2,5 yılda 1	11.4500	0,74	0,84	0,54
5 yılda 1	57.250	1,04	1,11	1,37
7,5 yılda 1	38.167	1,20	1,24	2,79
10 yılda 1	28.625	1,30	1,32	5,82

Perlit esaslı kaplama tasarımının gürültü bariyerlerine uygulanmasına yönelik yapılan analizler sonucunda aşağıdaki değerlendirmeler yapılmaktadır.

Perlitli kaplamanın BA gürültü bariyerine uygulanması ile gürültüden etkilenen kişi sayılarındaki değişim ile ilgili olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Mevcut 7m yüksekliğinde yansıtıcı tip BA bir gürültü bariyerinin perlit esaslı kaplama ile kaplaması durumunda mevzuatta verilen gürültü limit değerleri üzerinde gürültüye maruz kalan kişi sayısında L_{gag} için %10,6, L_{gece} için %9,8 ve $L_{gündüz}$ için %6,2 lik bir azalma sağlanmaktadır.
- Gürültü limit değerleri üzerinde gürültüye maruz kalan kişi sayısı esas alındığında, tüm ölçüm zaman aralıkları için (L_{gag} , L_{gece} , $L_{gündüz}$), 5m yüksekliğinde bir bariyerin perlit esaslı kaplama ile kaplanması durumundaki maruz kalan kişi sayısındaki yüzdelik değişim, 7 m yüksekliğindeki bir bariyerin kaplanması durumuna göre daha fazladır. Dolayısıyla elde edilecek marjinal fayda 5m yüksekliğindeki bir bariyerin perlit ile kaplanması durumunda 7m yüksekliğindeki bir bariyere göre daha fazladır.
- Mevcut 7m yüksekliğinde yansıtıcı tip BA bir gürültü bariyerinin perlit esaslı kaplama ile kaplaması durumunda rahatsız ve aşırı rahatsız kişi sayıları arasında %14,3 lük bir azalma meydana gelmektedir.

Perlitli kaplama uygulamasının net bugünkü değerleri (NBD) üzerinden fayda ve maliyet analiz çıktıları şunlardır.

- Gürültü bariyerinin boyu değişmediği ve perlitli kaplamanın başlangıç yatırım maliyetinin yükseklikle orantılı değişeceği için mevcut bir BA bariyere perlitli kaplama uygulanması durumunda, her yükseklik için geçerli olmak üzere, başlangıç yatırım maliyeti üzerinde yaklaşık %11 lik bir artış olacaktır.
- Tıkanıklık temizliği, perlit kaplamanın narinliğinden ve muhtemel kazalardan dolayı kısmi değişim gereksinimi gibi işletme maliyetleri nedeni ile yansıtıcı bir BA gürültü bariyerine göre işletme maliyetinde %40 lık bir artış meydana gelmektedir.
- Mevcut 7m yüksekliğinde yansıtıcı tip BA bir gürültü bariyerinin perlit esaslı kaplama ile kaplaması durumunda toplam fayda %34,4 oranında artmaktadır.
- İşletme ve yatırım maliyetindeki artışlara rağmen gürültü bariyerinin hem perlit esaslı kaplama ile imal edilen BA gürültü bariyeri için, hem mevcut bir BA gürültü bariyerinin perlit esaslı bir kaplama ile kaplaması durumu için net bugünkü değerleri (NBD) pozitif çıkmaktadır.
- Hem perlit esaslı kaplama ile imal edilen BA gürültü bariyeri için, hem mevcut bir BA gürültü bariyerinin perlit esaslı bir kaplama ile kaplaması durumu için iç karlılık oranları (İKO) hesaplandığında, İKO'nın indirgeme oranından (İO) büyük olduğu görülmektedir.
- Gerçekleştirilen fayda-maliyet analizlerinde de 1'den büyük değerler elde edilmiştir.
- Her üç durumda (F/M oranı, İKO ve NBD) da perlit esaslı kaplamalı gürültü bariyer inşası belirlenen alan ve koşullar için ekonomik olarak faydalı olacağı görülmektedir.

Yapılan duyarlılık analizlerinde aşağıdaki çıktılar elde edilmiştir:

- Betonarme bariyer inşa maliyetlerinde %10 oranındaki artış olması durumunda (BA gürültü bariyeri inşa maliyetinin 123\$/m²'den 135\$/m²'ye çıkması durumu) bariyersiz duruma göre hem betonarme gürültü bariyeri inşası hem de perlit esaslı kaplamalı gürültü bariyeri inşası durumları için “yatırım yapılabilir” kararı verilebilir. BA gürültü bariyeri inşası durumu %10 üzerinde, perlit kaplamalı BA gürültü bariyeri inşası durumunda ise yaklaşık %30 fiyat artışı durumunda “yatırım yapılamaz” olarak değerlendirilmektedir.

- Perlit esaslı bir kaplamanın kaplama maliyetindeki artış, genel bariyer inşaa maliyetleri içerisinde önemli bir maliyet arz etmediğı için F/M analiz sonuçlarına önemli bir etkide bulunmamaktadır. Perlit esaslı kaplama maliyetlerindeki neredeyse 2 katına kadar olan artışlar hem mevcut bir betonarme gürültü bariyerinin perlit esaslı kaplama ile kaplanması hem de perlit esaslı kaplamalı gürültü bariyeri inşası durumları için “yatırım yapılabilir” özelliğini kaybetmemektedir.
- Perlit esaslı kaplamanın tıkanıklık giderme amaçlı temizlenmesinde temizleme sıklığının 3 katına kadar arttırılması veya temizleme maliyetinin %20 oranında artması durumunda dahi, hem mevcut bir betonarme gürültü bariyerinin perlit esaslı kaplama ile kaplanması hem de perlit esaslı kaplamalı gürültü bariyeri inşası durumları için finansal etkinlik bakımından uygunluğunu kaybetmeyeceğı söylenebilir.
- Temizleme sıklığının 4 katına çıkması durumunda ise mevcut bir betonarme gürültü bariyerinin perlit esaslı kaplama ile kaplanması durumu yatırım yapılabilir özelliğini yitirmektedir.
- Genel bakım ve çevresel temizlik sıklığının 5 yıldan daha sık yapılması hem mevcut bir betonarme gürültü bariyerinin perlit esaslı kaplama ile kaplanması hem de perlit esaslı kaplamalı gürültü bariyeri inşası durumları için yatırım yapılabilir değildir.

5. SONUÇLAR

Gürültü bariyerleri üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikle 1980’li yıllardan sonra bu konu üzerinde çokça çalışılmaya başlandığı görülmektedir. Türkiye’de ise Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği’nin yürürlüğe nispeten yeni girmesi ve bu mevzuat’ın gerektirdiği haritalama, eylem planı oluşturma ve önlemlerin alınması için gerekli bekleme süreleri nedeni ve henüz yaygın bir uygulama alanı bulamaması nedeni ile gürültü bariyerleri üzerine literatür anlamında çalışmalar yeterli değildir. Gürültü bariyerlerinin Türkiye’deki uygulama alanı arttıkça sadece gürültü bariyerlerinin kendisi üzerine değil gürültü bariyerleri ile ilgili, örneğin gürültü bariyerlerinin genel sağlık üzerine etkileri, haritalama ve modelleme teknikleri vb. sosyal, mühendislik, sağlık ve ekonomik alanlardaki ilgili yan araştırma konularının da araştırmacılar tarafından incelenmeye başlanacağı düşünülmektedir. Çalışmada gerçekleştirilen literatür araştırması, yukarıda verilen nedenlerle, genellikle yabancı kaynaklar referans alınarak gerçekleştirilmiş ve buna bağlı olarak kullanılan bazı veriler belli kabuller altında ülkemiz şartlarına uyarlanmıştır. Türkçe bir kaynak olarak bu çalışmanın gürültü bariyeri üzerine ve yan araştırma alanları üzerine yapılacak araştırma konularında önemli bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

Türkiye’de oldukça zengin bir şekilde bulunan perlitin bir kaplama malzemesi olarak gürültü bariyerlerinde kullanımının uygun olup olmadığının irdelendiği bu çalışmada, patlatılmış perlitin yüksek sıcaklık altında camsılaştırma ve ardından soğutma işlemlerinden sonra kazandığı gözenekli yapı ile iyi bir ses yutucu yapıya kavuştuğu görülmüştür. Perlit esaslı kaplama ile kaplanan bir bariyer, gerçekleştirilen akustik testler sonucunda belirlendiği üzere TS EN 1793-1 Standardına göre A2 sınıfı ses yutuculuğa sahip gürültü bariyeri olarak sınıflandırılmaktadır. Piyasada yer alan birçok gürültü bariyerinin ses yutum performansı A2 sınıfında yer aldığından bu özelliği ile perlitli kaplamanın trafik gürültüsü ile mücadelede kullanılabilecek nitelikte olduğu görülmektedir.

Gürültü haritalama sonuçlarının, etkilenen kişi sayılarındaki yüzdesel değişiklik cinsinden verilmesi sonuçların nüfusa bağlı olmadan, istenilen parametreler için

değişiminin izlenmesine olanak vermektedir. Bu durum sonuçların esnek bir şekilde yorumlanmasını da olanaklı kılmaktadır. Böylelikle seçilen alandaki nüfus yoğunluğu arttığında, etkilenen (rahatsız ve aşırı rahatsız) kişi sayısındaki değişim yüzdesel olarak nüfusa yansıtılarak yeni kişi sayıları üzerinden yeni bir fayda hesabı gerçekleştirilmesine, böylelikle ekonomik analizlerin kolaylıkla yeniden yapılabilmesine imkan sağlamaktadır. Hatta gürültü ölçüm zaman dilimleri için gün içi nüfus (gündüz ve gece farklı nüfus sayıları) değişikliklerinin olması durumunda fayda değerleri yeniden hesaplanabilecektir.

Alan kullanım fonksiyonu değişikliği olması durumunda, gürültü limit değerleri ve etkilenen kişi sayıları değişeceğinden analizlerin tekrar yapılması gerekmektedir. Trafik kompozisyonu, taşıt sayısı, ortalama hız gibi trafik ile ilgili kabul edilmiş değerlerin değişmesi durumunda oluşacak gürültü düzeyleri de değişecektir. Bu durumlarda perlitli kaplama için verilen bu çalışma sonuçlarının alan kullanım fonksiyonu ve trafik koşullarının değişmemesi şartı ile geçerli olacağı söylenebilir.

Bu tez çalışmasından yararlanılarak ileriye dönük yapılabilecek çalışmalar ve katkılar aşağıda özetlenmiştir;

-Kullanılan perlit esaslı kaplamanın tasarım aşamaları, kullanılan bileşenler ve kalınlıkları değiştirilerek istenilen frekans bantlarındaki yutum değerleri değiştirilerek farklı akustik ve fiziksel performansa sahip kaplamalar elde edilebilir. Optimum perlit kalınlığının elde edilecek olan akustik performansa etkisi de incelenebilir.

-Bergama yöresinden elde edilen perlite ait olan bu çalışmadaki deney sonuçların, Türkiye'nin farklı bölgelerinden elde edilen patlatılmış perlitten imal edilen ses yutucu kaplamalara ait deney sonuçları karşılaştırılarak perlit kayaç yöresinin ve bileşiminin ses yutuculuk performansına etkisi incelenebilir.

-Hatta kaplamanın boşluk oranını ve fiziksel yapısını değiştirmek için perlit yanı sıra pomza gibi diğer doğal madenler de kullanılabilir. Tasarlanan perlit esaslı kaplamanın uzun ve orta süreli hizmet süresi için, soğuk, ılıman ve sıcak bölgeler ayrı ayrı olmak üzere, durabilite çalışmaları gerçekleştirilebilir.

-Tasarlanan perlit esaslı kaplama bina dış cephe kaplama elemanı olarak, özellikle bitişik nizam yapıların olduğu ve yoğun trafik nedeni ile bina cephesinden kaynaklanan ses yansıması sayesinde gürültünün arttığı yerleşim alanlarında kullanılabilir. Bina cephesi malzemesi olarak kullanılması durumunda akustik

özelliklerinin yanı sıra binaya kazandıracağı ısı yalıtım katkısı da araştırma konusu olarak ele alınabilir.

-Elde edilen kaplamanın perlit esaslı olması ve yangına tepki sınıfının A1 yanmaz sınıfta yer alması sebebi ile hem gürültü önleme hem de yangına karşı koruyucu tabaka olarak kullanılma amacıyla otoyolda tünel içi kaplama malzemesi olarak da kullanılması mümkündür. Bu noktada, perlitli kaplama imalat aşamaları ve tünel iç eğiminin kalıpla sağlanabilmesi açısından farklı imalat yöntemlerine ihtiyaç duyulacaktır.

-İleriye yönelik en önemli çalışmalardan biri ise, bu çalışma ürünü olan perlitli kaplamanın sanayi ürünü haline getirilmek üzere fabrika üretimine uygun hale getirilmesi hakkında olacaktır. Nitekim üretimin elektrikli fırınlar yerine sürekli bant tipi ve doğalgaz yakan fırınlar ile sağlanabilmesi imalat süreci açısından ayrı bir çalışma konusu olarak ele alınmalıdır. Ayrıca sürdürülebilir bir üretim sağlayabilmek adına elektrik veya doğalgaz fırınları yerine farklı bağlayıcılar ile benzer dayanıklı gözenekli yapılar oluşturulup oluşturulamayacağı incelenebilir.

-İlerleyen yıllarda tasarlanan perlitli kaplama malzemesinin, İstanbul Tuzla'da yer alan TSE Yangın ve Akustik Laboratuvarında TS EN 10140-2 standardına göre hava doğuşlu ses yalıtım deneyi ile TS EN 354 standardına göre (oda metodu) ses yutum akustik performansının yanı sıra yük taşımayan duvarlar için kaplama elemanı olarak TS EN 1364-1 Standardına göre kaplamalı ve kaplamasız şekilde test edilerek duvara katacağı yangın dayanım performansının da ölçülmesi planlanmaktadır.

-Buna ek olarak gelecek yıllarda yapılacak yatırımlar ile gürültü bariyerleri ürün standardının (TS EN 14388) gerektirdiği tüm fiziksel ve akustik testlerin gerçekleştirilebileceği bir altyapının bu test merkezi bünyesinde Türkiye'de özellikle Karayolları Genel Müdürlüğü, Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları, yerel yönetimlerin, üniversitelerin ve ilgili diğer tüm üretici ve muhtemel paydaşların hizmetine sunulması düşünülmektedir. Bu çalışmadan elde edilen bilgi birikimi ve tecrübenin, hem test altyapısının kurulmasında hem de ilgili İdarelere bunun aktarılmasında önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

-Yapılan çalışmada elde edilen fiziksel, akustik ve ekonomik analiz değerlendirme sonuçları; laboratuvar ortamında geliştirilen perlit esaslı kaplamanın trafik gürültüsü ile mücadelede kullanılmasının mümkün olduğunu göstermektedir. Bu çalışmanın ve

ileriye dönük muhtemel araştırma ve çalışmaların dünya üzerinde yaygın kullanımı olan betonarme gürültü bariyerleri veya mevcut yansıtıcı tip gürültü bariyerleri üzerine perlitli veya benzer kaplama çeşitlerinin uygulanması açısından, literatürün yanı sıra uygulama açısından da katkı sağlaması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Arenas, J. P., & Crocker, M. J.** (2010). Recent trends in porous sound-absorbing materials. *Sound & Vibration*, 44(7), 12-18.
- ASTM.** (2002). *Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method.* (ASTM C423-02).
- Bendtsen, H.** (2010). *Noise Barrier Design: Danish and Some European Examples* (Report: UCPRC-RP-2010-04). California: Danish Road Institute—Road Directorate.
- Bilget, L.** (1986). *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu : Perlit.* Ankara: Devlet Planlama Teşkilatı (DPT).
- Bolen, W. P.** (2011). *USGS Mineral Commodity Summaries 2011.* U.S. Geological Survey.
- CEDR** (2013). *Value for Money in Road Traffic Noise Abatement* (Report: CEDR Road Noise 2009-2013). Paris: Conference of European Directors of Roads (CEDR).
- Clairbois, J.-P., Roo, F., Garai, M., Conter, M., Defrance, J., Oltean-Dumbrava, C., & Durso, C.** (2012). *QUIESST Guidebook to Noise Reducing Devices optimisation.* Erişim tarihi: 5 Mayıs 2013, Adres: <http://www.quiesst.eu/>
- Çalış, M.** (2007). *Gürültü Perdelerinin Karayolu Kaynaklı Gürültünün önlenmesi Amaçlı Kullanımı ve Ekonomik Analizi* (Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Ve Yönetimi Yönetmeliği** (2010). *T. C. Resmi Gazete*, 27601, 4 Haziran 2010.
- DataKustik CadnaA Noise Prediction Software** (Versiyon 4.1) [Computer Software]. Greifenberg, Germany: DataKustik GmbH.
- Durisol.** (2012). Erişim tarihi: 2 Ocak 2013, Adres: [http://www.durisolbuild.com/Webdocs/Tech%20Guide%20\(No%20Photos\).pdf](http://www.durisolbuild.com/Webdocs/Tech%20Guide%20(No%20Photos).pdf)
- European Association of Mining Industries, Metal Ores & Industrial Minerals.** (2012). *Production by minerals.* Erişim tarihi: 1 Ocak 2013, Adres: <http://www.euromines.org/mineral/Perlite>
- European Commission Working Group On Health And Socio-Economic Aspects.** (2003). *Valuation of Noise Position Paper.* Erişim tarihi: 1 Ocak 2013, Adres: http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/valuation_final_12_2003.pdf.
- FHWA.** (2010). *Noise Barrier design handbook.* Erişim tarihi: 14 Mayıs 2011, Adres: http://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/noise_barriers/design_construction/design/index.cfm
- FHWA.** (2012). *Summary of Noise Barriers Constructed by December 31, 2010.* Erişim tarihi: 1 Ocak 2013, Adres: http://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/noise_barriers/inventory/summary/index.cfm adresinden alındı

- Hajek, J. J.** (1984). Improving sound-absorption properties of porous concrete materials. *Canadian Acoustics*, **12** (2), 39-47.
- HEATCO.** (2006). *Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment*. Sixth Framework Programme, (Contract No: 2002-SSP-1/502481), Stuttgart: European Commission EC-DG TREN. Erişim tarihi: 21 Ocak 2013 Adres: <http://www.heatco.ier.uni-stuttgart.de>.
- Houssa, C. E.** (1999). Talking Turkey, An Update on the Turkish Minerals Industry. *Industrial Minerals*, 379, 21-47.
- ICF International.** (2008). *National Cooperative Highway Research Program, Guidelines for Selection and Approval of Noise Barrier Products*. Lexington, Massachusetts: NCHRP (Project 25-25, Task40), Transportation Research Board. Erişim tarihi: 21 Ocak 2013 Adres: [http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/notesdocs/25-25\(40\)_fr.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/notesdocs/25-25(40)_fr.pdf)
- IMF.** (2014). *World Economic Outlook Database, April 2014*. International Monetary Fund. Erişim tarihi: 21 Haziran 2014 Adres: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2014/01/weodata/weorept.aspx?sy=2013&ey=2013&ssd=1&sort=country&ds=.&br=1&pr1.x=16&pr1.y=7&c=512%2C668%2C914%2C672%2C612%2C946%2C614%2C137%2C311%2C962%2C213%2C674%2C911%2C676%2C193%2C548%2C122%2C556%2C912%2C678%2C31>
- ISO.** (2001). *Akustik- Empedans borularında ses absorplama katsayısı ve empedansın tayini - Bölüm 1: Duran dalga oranını kullanma metodu*. (TS EN ISO 10534-1), Erişim: <http://www.tse.org.tr>.
- ISO.** (2003a). *Acoustics — Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys*. (ISO/TS 15666). Erişim: <http://www.tse.org.tr>.
- ISO.** (2003b). *Akustik-Empedans borularındaki ses absorpsiyon katsayısının ve empedansın tayini-Bölüm 2:Aktarım fonksiyonu metodu*. (TS EN ISO 10534-2). Erişim: <http://www.tse.org.tr>.
- ISO.** (2006). *Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation*. (TS ISO 9613-2). Erişim: <http://www.tse.org.tr>.
- Kotzen, B., & English, C.** (2009). *Environmental Noise Barriers, A Guide To Their Acoustic and Visual Design*. New York: Taylor& Francis Group.
- Krezel, Z. A., & McManus AM, K. J.** (2002). *Recycled Aggregate Concrete Sound Absorbing Barriers for Urban Freeways*. Proceedings of the International Conference on the Science and Engineering of Recycling for Environmental Protection, 31 May - 2 June 2000, Harrogate, Yorkshire, England, UK, 884-892.
- Krezel, Z. A., & McManus, K. A.** (2003). *Sound absorbing concrete barrier*. Proceedings 3rd International Conference on Modelling & Experimental Measurements in Acoustics/Acoustics 3, Cadiz, Spain, 16-18 June 2003., 181-189.
- Long, M.** (2006). *Architectural Acoustics*. London, UK. Elsevier Academic Press.
- Marsh, A.** (1999). *Sound Absorption*. Erişim tarihi: 1 Ocak 2013 Adres : http://www.kemt.fei.tuke.sk/Predmety/KEMT320_EA/_web/Online_Course_on_Acoustics/index_acoustics.html
- McGrory, M., Cirac, D. C., Gaussen, O., & Cabrera, D.** (2012). Sound absorption coefficient measurement: Re-examining the relationship between

- impedance tube and reverberant room methods. *Proceedings of Acoustics 2012*, (s. 55-63). Fremantle, Australia, Kasım 21-23.
- Menge, C. W., & Powers, N. A.** (1979). Sound-Absorbing Barriers: Materials and Applications. *Proceedings of Conference on Highway Traffic Noise Mitigation*. Washington, D.C.; Federal Highway Administration.
- Menge, C. W., & Barrett, D. E.** (2011). Reflections from Highway Noise Barriers and the Use of Absorptive Materials in the U.S., and Why Small Increases in Noise Levels May Deserve Serious Consideration, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2233 (1), 161-166.
- Miedema, M. E., & Oudshoorn, G. M.** (2001). Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals, *Environmental Health Perspectives*, 109(4), 409-416.
- Mimarlık Ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2013 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ** (2013). T. C. Resmi Gazete, 28627, 24 Nisan 2013.
- Morgan, P. A., Hothersall, D. C., & Chandler-Wilde, S. N.** (1998). Influence of shape and absorbing surface – a numerical study of railway noise barriers, *Journal of Sound and Vibration*, 217 (3), 405-417.
- Morgan, S. M., Kay, D. H., & Bodapati, S. N.** (2001). Study of Noise Barrier Life-Cycle Costing, *Journal of Transportation Engineering*, 127(3), 230-236.
- Mueller, R.** (2007). Technical Assistance to Transportation Infrastructure Needs Assessment for Turkey. *Final Report (TINA Turkey) Joint Venture*.
- Navrud, S.** (2011). *State-of-the-art in Valuation of Transportation Noise* [Power Point Sunumu]. Erişim Tarihi: 4 Haziran 2013 Adres: http://www.czp.cuni.cz/tranext/files/6-Navrud-State-of-the-art_in_valuation_of_transportation_noise.pdf
- Nijland, H., & Wee, B.** (2008). Noise valuation in ex-ante evaluations of major road and railroad projects. *EJTIR*, 3(8), 216-226.
- Öztürk, T., Öztürk, Z., & Çalış, M.** (2012). A case study on acoustic performance and construction costs of noise barriers. *Scientific Research and Essays*, 7(50), 4213-4228.
- Salverda, M., & Hawkins, R.** (2003). *ICRA Learning Resources: Cost Benefit Analysis - Key Concepts* [Power Point Sunumu]. Erişim Tarihi: 3 Haziran 2013, Adres: http://www.icra-edu.org/objects/anglolearn/Cost_Benefit_Analysis-Key_Concepts1.pdf
- Schmidt, M., & Schwertfeger, F.** (1998). Applications for silica aerogel products. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 225, 364–368.
- Sullivan, E., Dahlgren, J., Weisbrod, G., & Attaran, K.** (2008). Web-based guide to transportation benefit-cost analysis. *Journal of Transportation Engineering*, 134(7), 282-286.
- TSE.** (2002). *Yol Trafik Gürültüsünü Azaltan Sistemler Akustik Performansın Tayini İçin Deney Metodu Bölüm 1: Ses Absorpsiyonunun Temel Özellikleri* (TS EN 1793-1). Erişim: <http://www.tse.org.tr>.
- Url-1** <<http://www.hollowcore.com.au/products/soundtrap/index.html>>, Erişim tarihi: 27.01.2013

- Url-2** <<http://www.knaufinsulation.us/content/acoustical-smooth-board-ecose-technology>>. Erişim tarihi: 27.01.2013
- Url-3** <<http://www.ursa-uk.co.uk/en-us/applications/acoustic-floors-walls/pages/description.aspx> >, Erişim tarihi: 27.01.2013
- Url-4** <<http://www.pwc.co.uk/economic-services/global-economy-watch/gew-projections.jhtml>>, Erişim tarihi: 24.05.2014.
- Url-5.** <<http://www.tradingeconomics.com/turkey/forecast>>, Erişim tarihi: 24.04.2014.
- Uyanık, T.** (2010). Sektörel Rapor: Madencilik (HS: 25,26,27,6802). Ankara: Ekonomi Bakanlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi (İGEME) Raporu.
- Watts, G. R.** (1995). Traffic Noise Barriers. *TRL Annual Review 1995*.
- Watts, G. R., & Godfrey, N. S.** (1999). Effects on roadside noise levels of sound absorptive materials in noise barriers. *Applied Acoustics*, 58(4), 385-402.
- WHO.** (1980). *WHO Environmental Health Criteria 12 – Noise*. Geneva: World Health Organisation.
- WisDOT Research & Library Unit.** (2012). Transportation Synthesis Report: Comparison of Permeable Pavement Types. (Rapor No: TSR-2011). Wisconsin: WisDOT Research & Library Unit Report
- WSDOT.** (2010). *WSDOT- Noise FAQ*. Alındığı tarih: 7 Kasım 2010, Adres: <http://www.wsdot.wa.gov/Environment/Air/Noisefaq.htm>
- Zhu, H., & Carlson, D. D.** (2001). A spray based crumb rubber technology in highway noise reduction application. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, 27(1), 27-32.

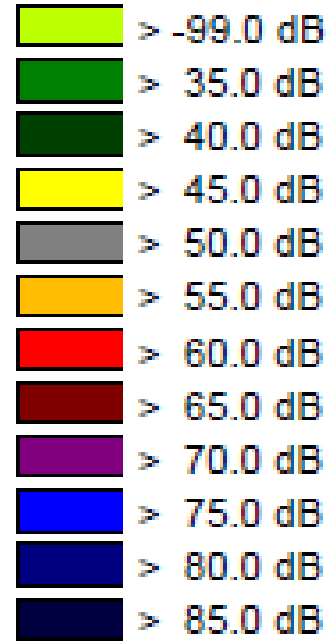
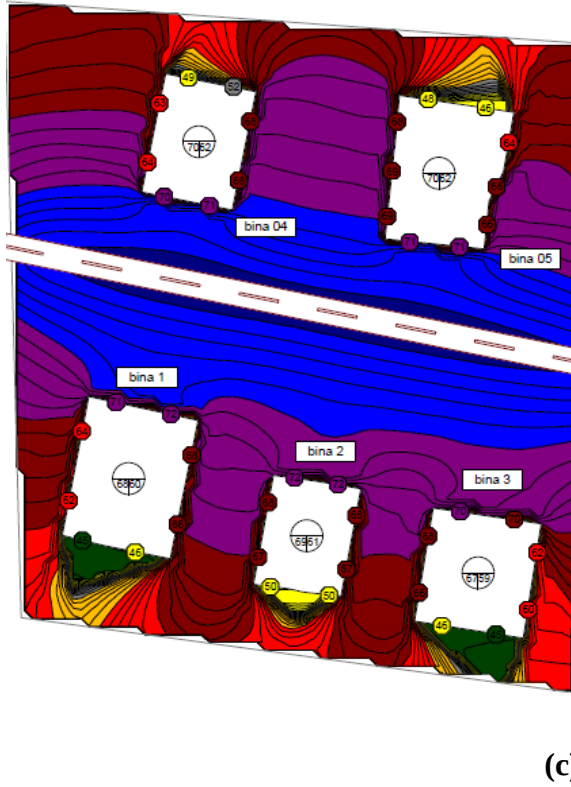
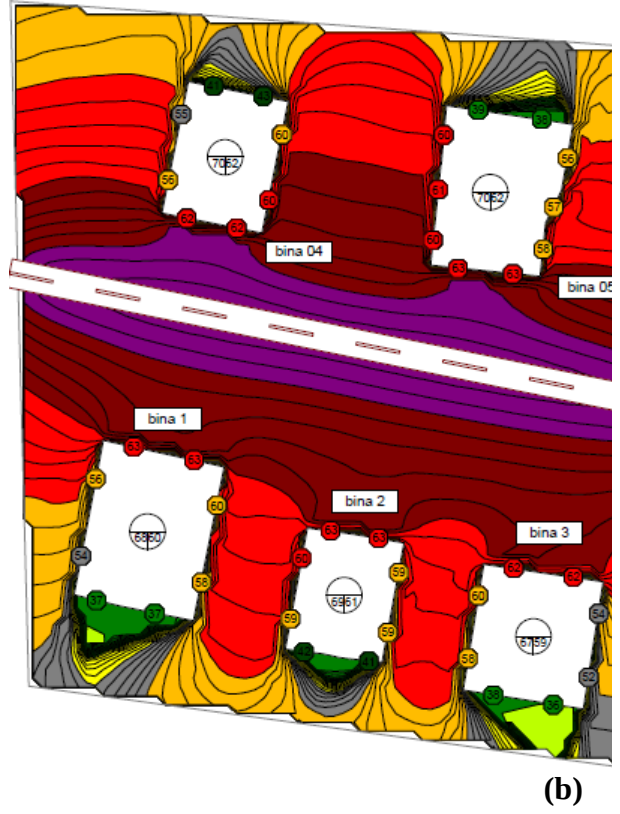
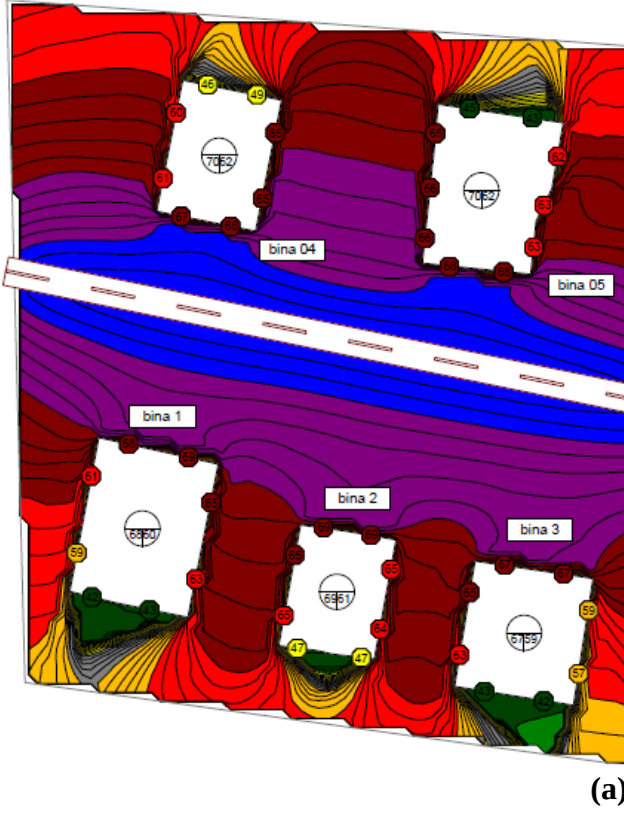
EKLER

EK A: Gürültü Haritaları

EK B: Ekonomik Fayda Değeri Hesabı

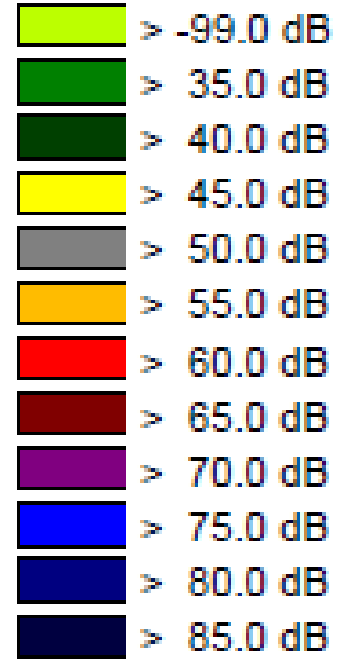
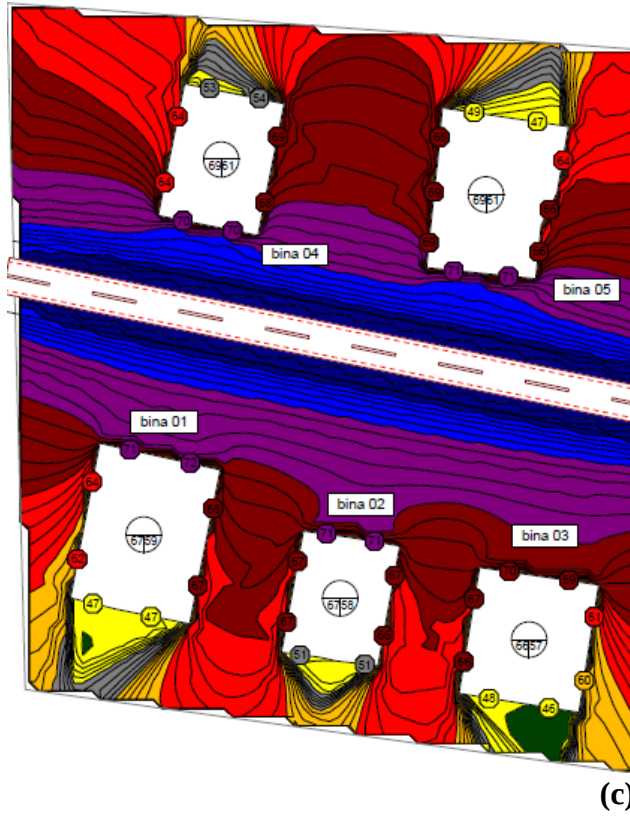
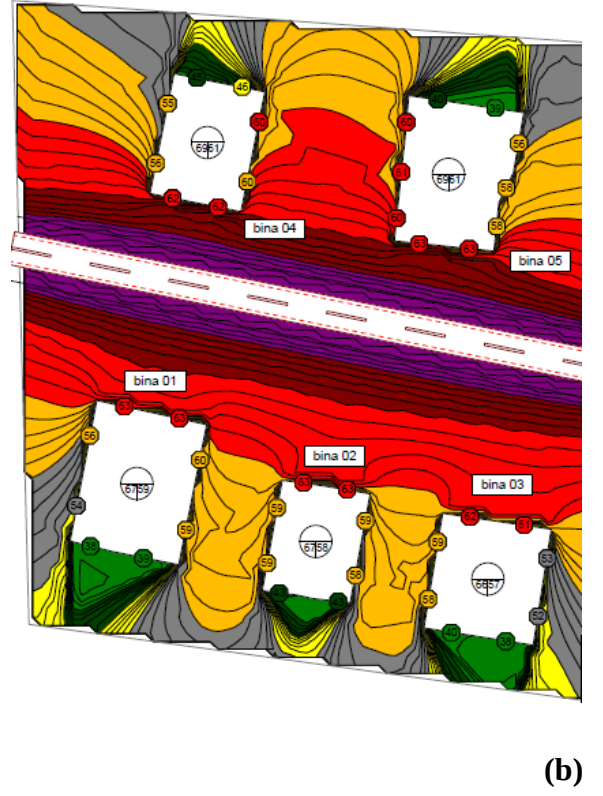
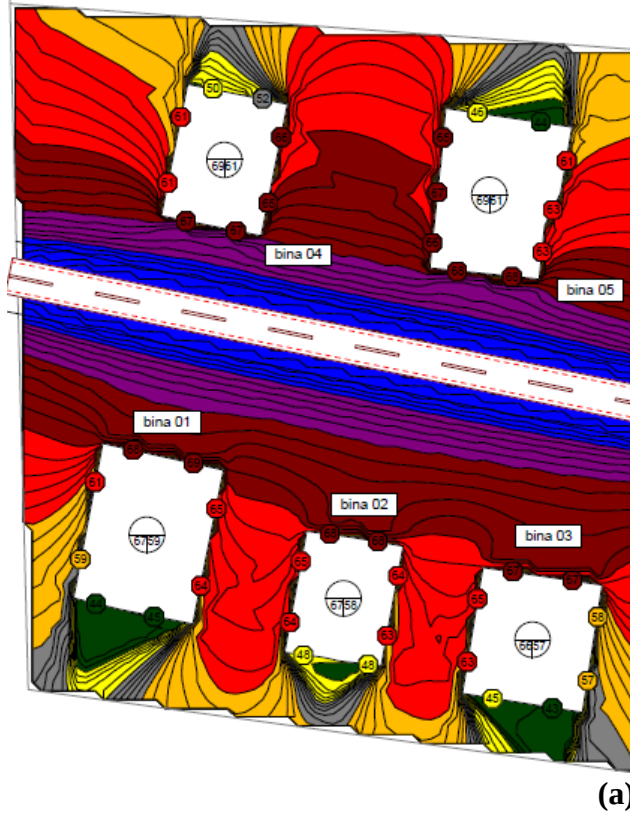
EK C: Ekonomik Maliyet Değeri Hesabı

EK A Gürültü Haritaları



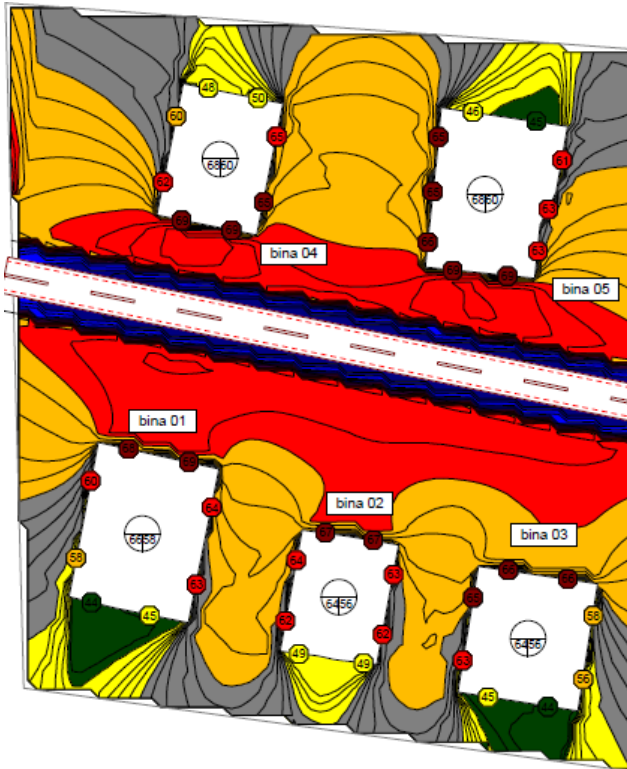
(d)

Şekil A.1 : Gürültü haritaları: bariyersiz durum (a) $L_{gündüz}$. (b) L_{aksam} . (c) L_{gag} . (d) L_{gag}

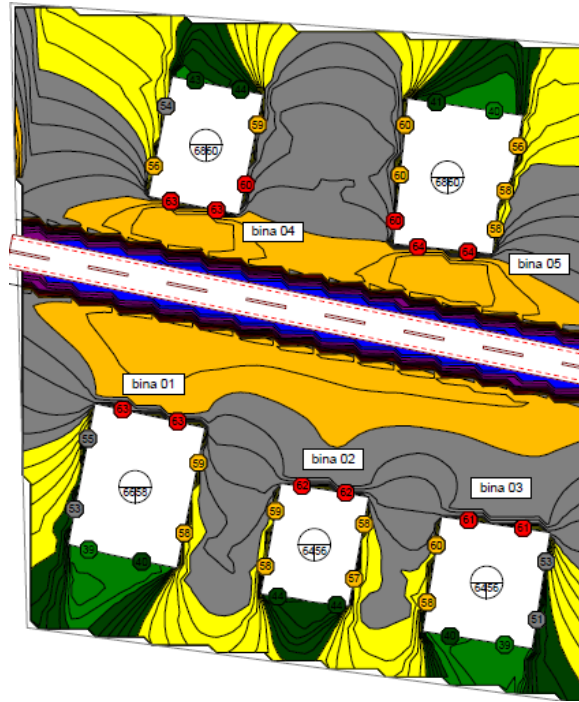


(d)

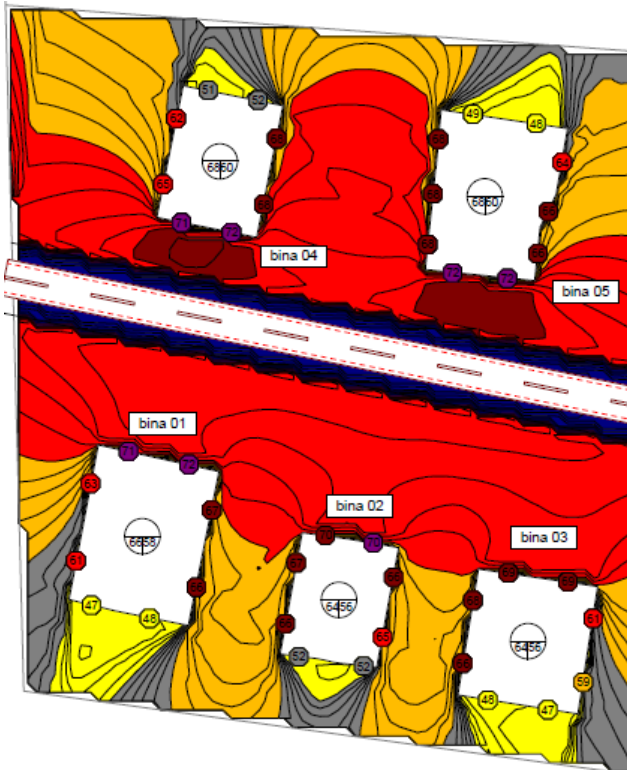
Şekil A.2 : Gürültü haritaları: 3m yansıtıcı tip BA gürültü bariyeri durumu
(a)Lgündüz. (b) Laksam. (c) Lgag. (d)Legant



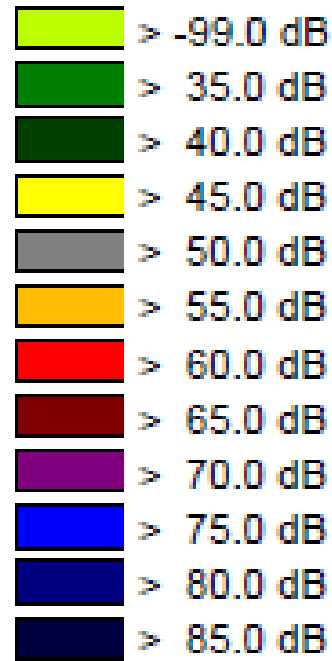
(a)



(b)

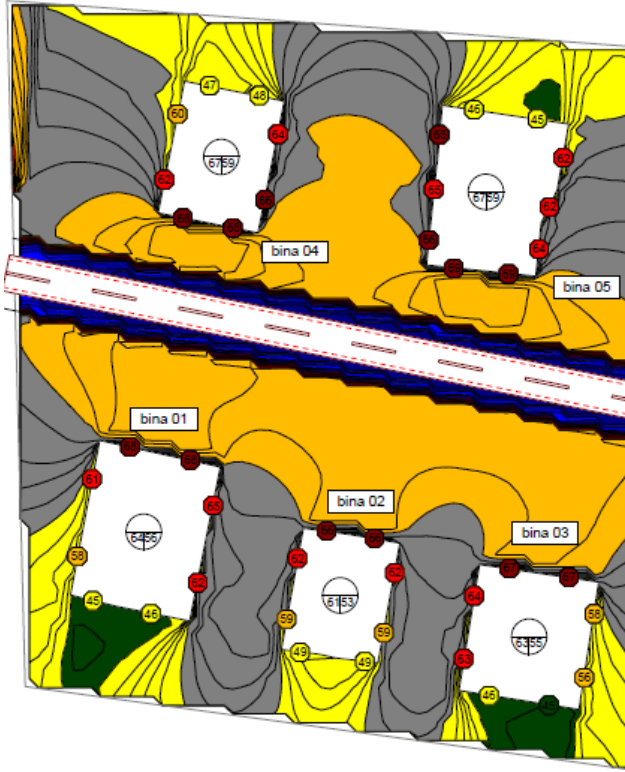


(c)

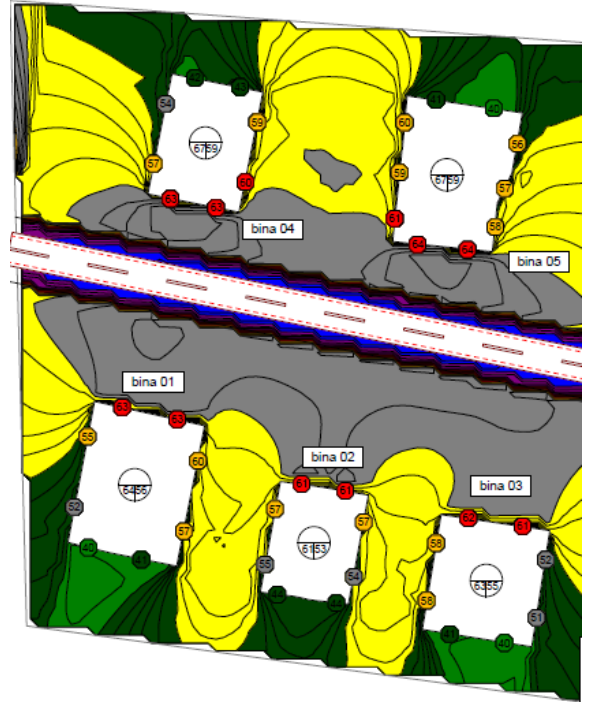


(d)

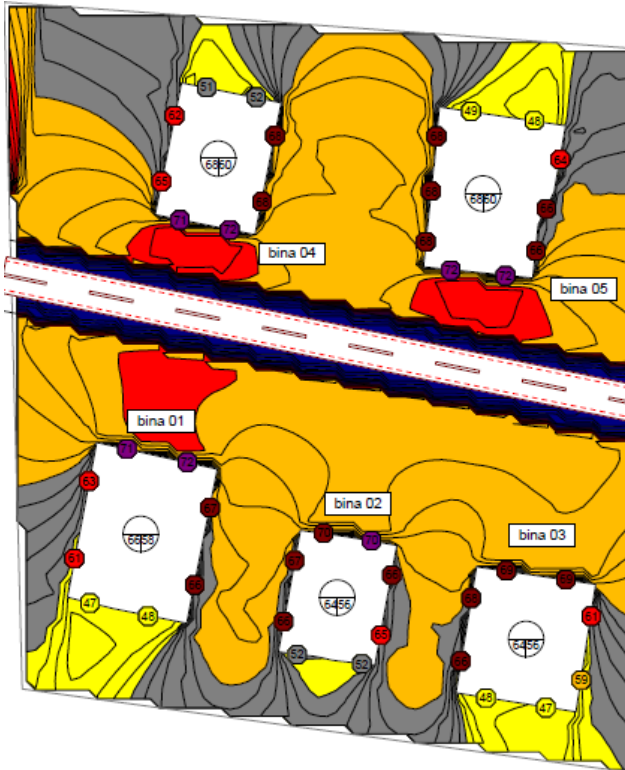
Şekil A.3 : Gürültü haritaları: 5m yansıtıcı tip BA gürültü bariyeri durumu
(a)Lgündüz. (b) Laksam. (c) Lgag. (d)Legant



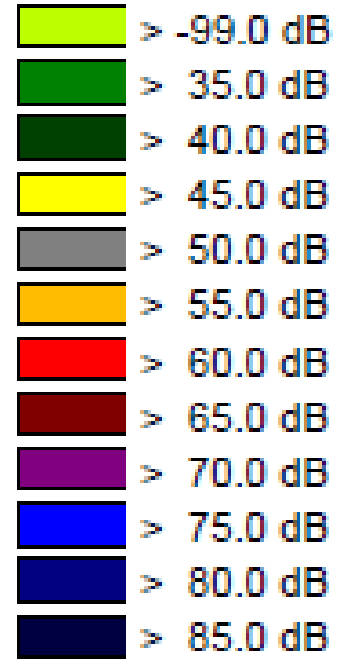
(a)



(b)

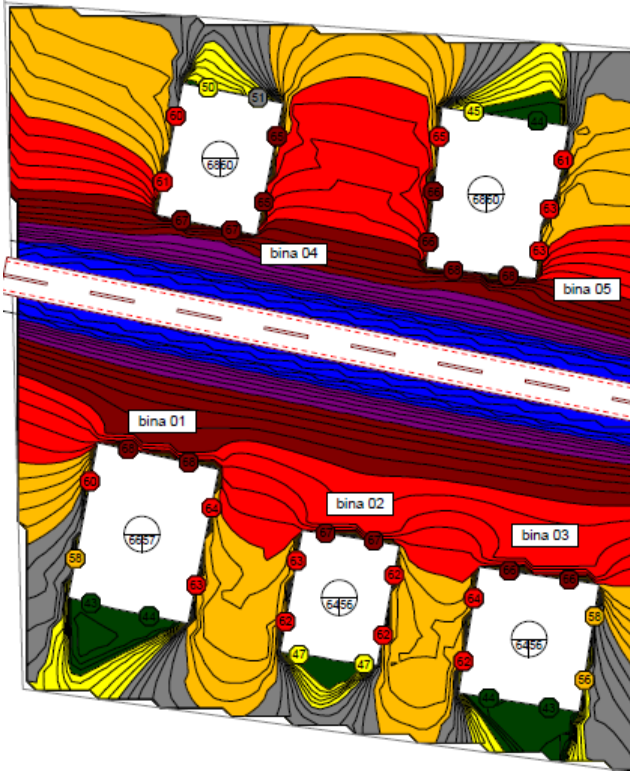


(c)

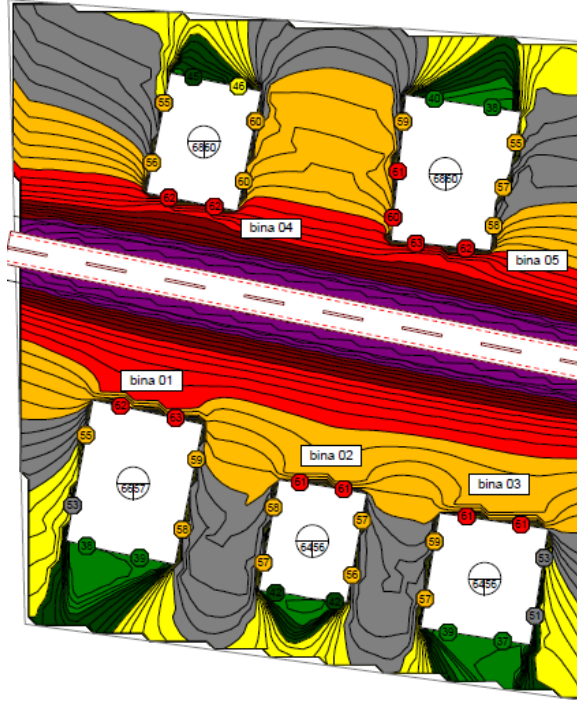


(d)

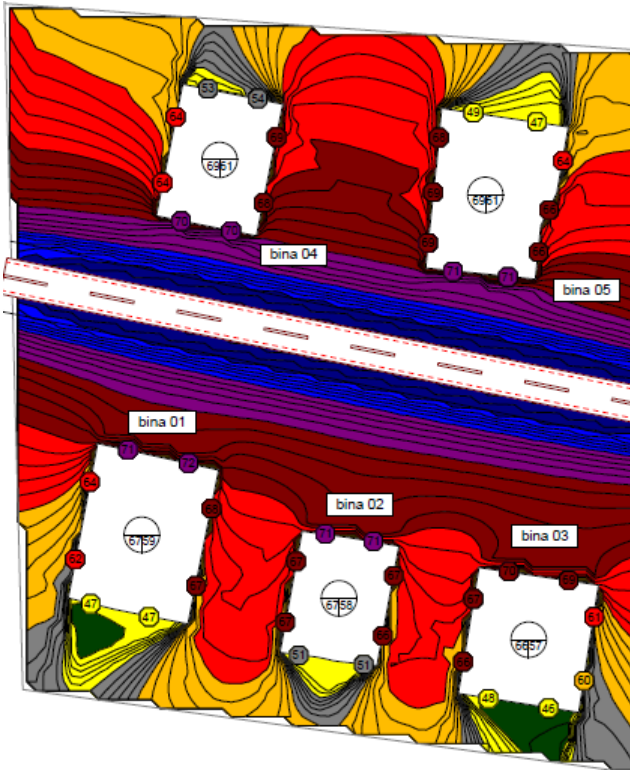
Şekil A.4 : Gürültü haritaları: 7m yansıtıcı tip BA gürültü bariyeri durumu
(a)Lgündüz. (b) Laksam. (c) Lgag. (d)Legant



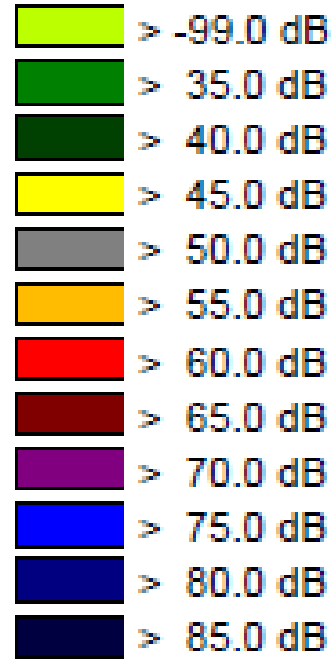
(a)



(b)

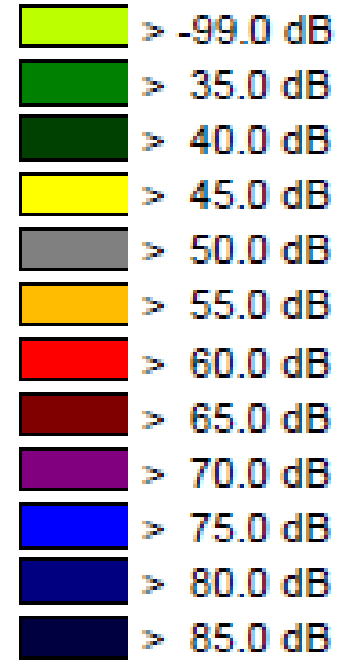
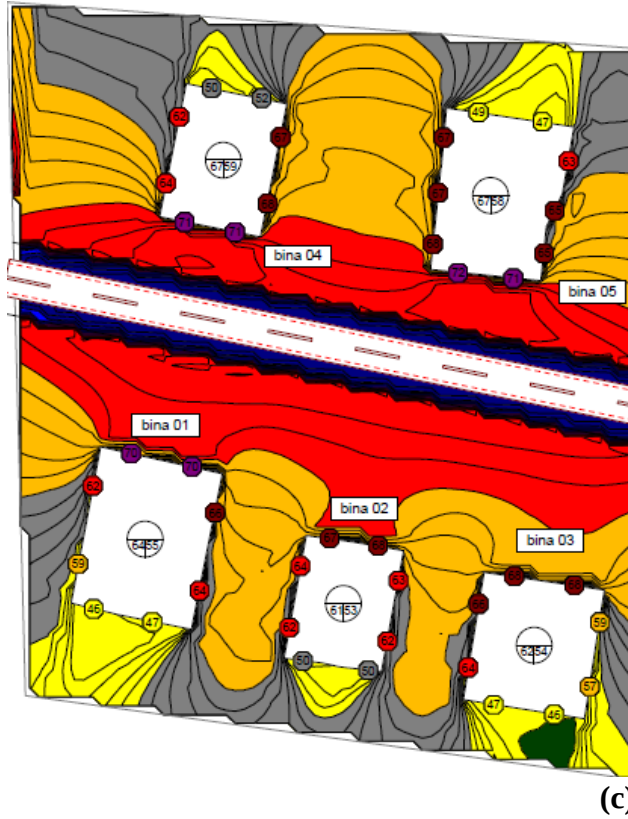
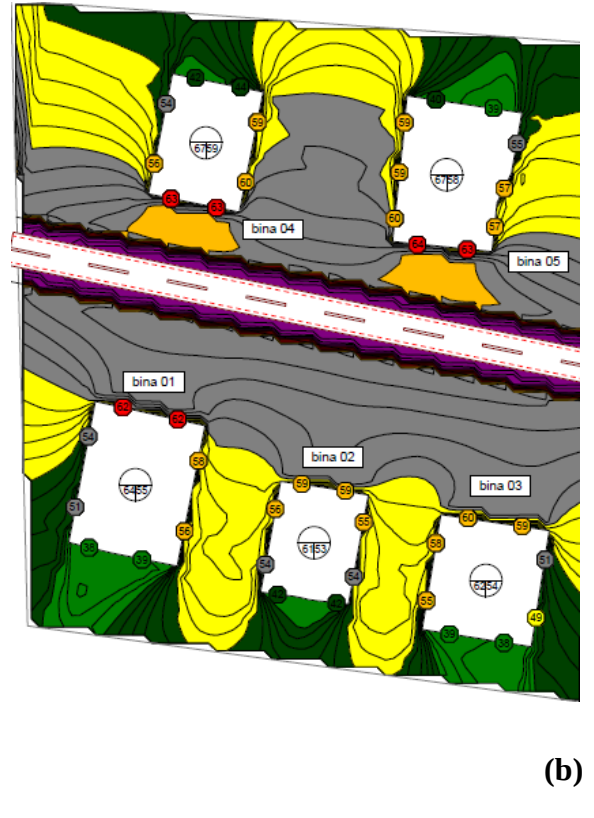
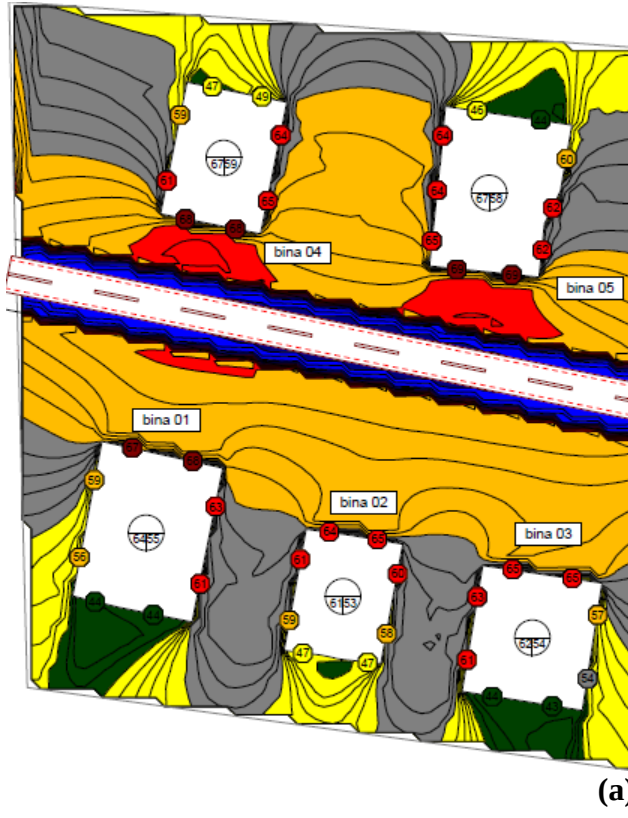


(c)



(d)

Şekil A.5 : Gürültü haritaları: 3m yutucu tip ($\alpha=0,3$) BA gürültü bariyeri durumu
(a)Lgündüz. (b) L_{akşam}. (c) L_{gag}. (d)Legant



(d)

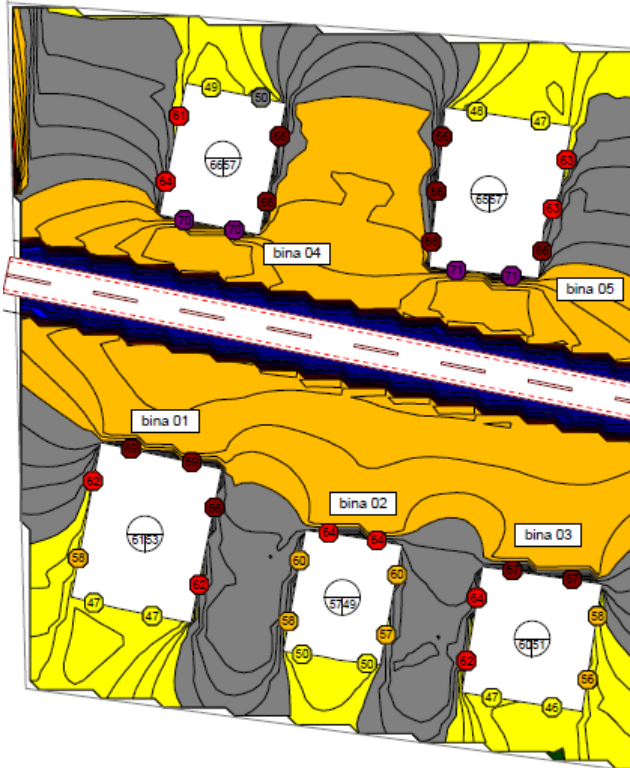
Şekil A.6 : Gürültü haritaları: 5m yutucu tip ($\alpha=0,3$) BA gürültü bariyeri durumu
(a)Lgündüz. (b) Lākşam. (c) Lgag. (d)Legant



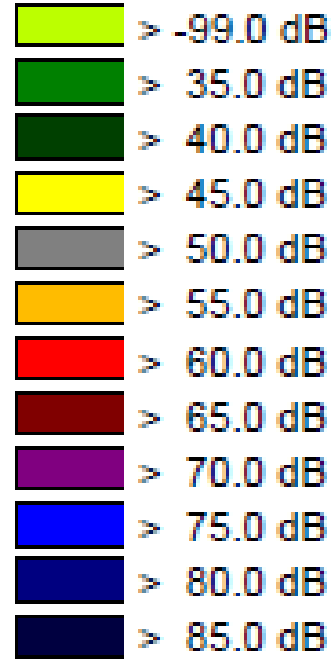
(a)



(b)

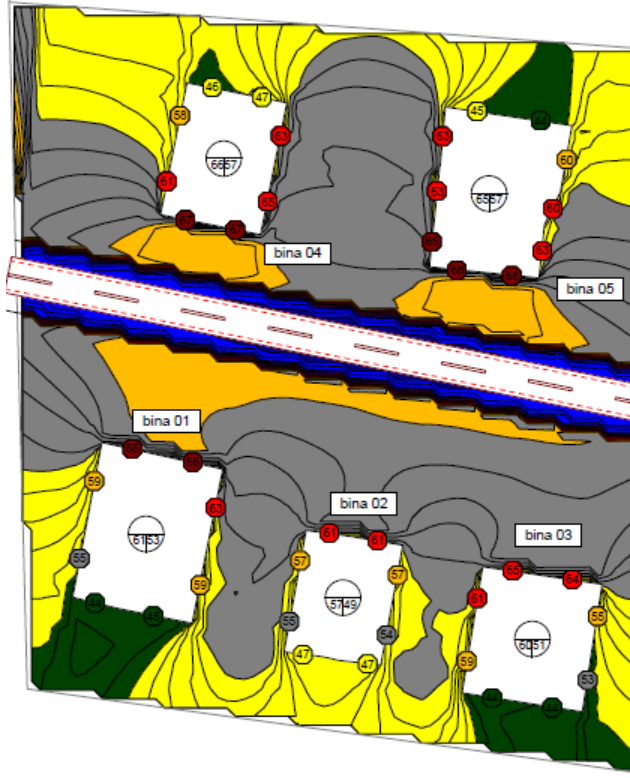


(c)

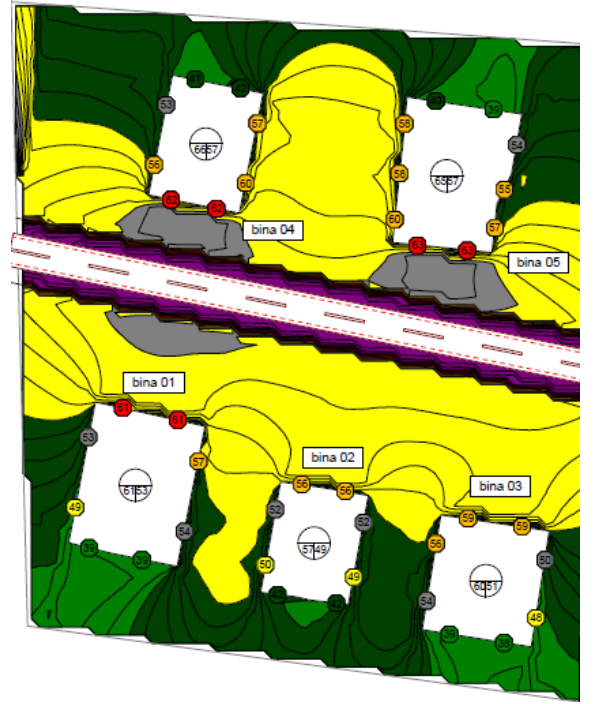


(d)

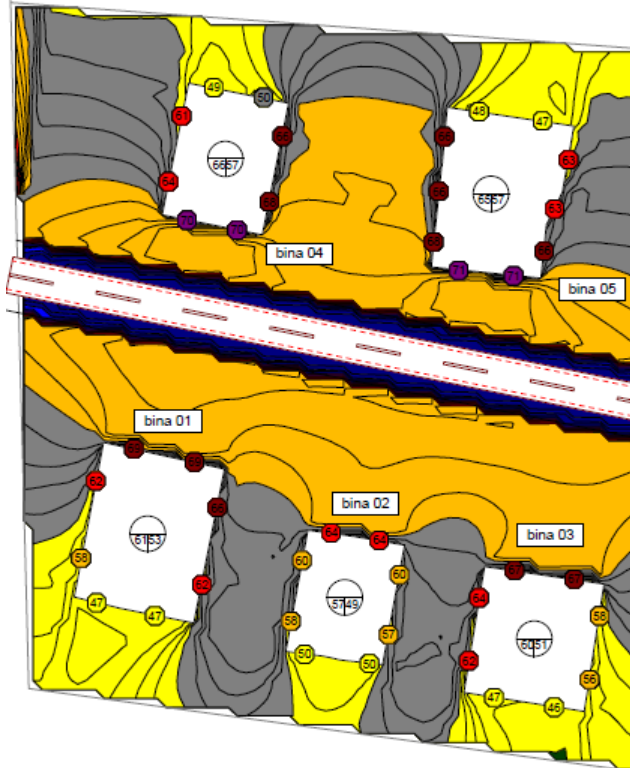
Şekil A.7 : Gürültü haritaları: 7m yutucu tip ($\alpha=0,3$) BA gürültü bariyeri durumu
(a)Lgündüz. (b) Laksam. (c) Lgag. (d)Legant



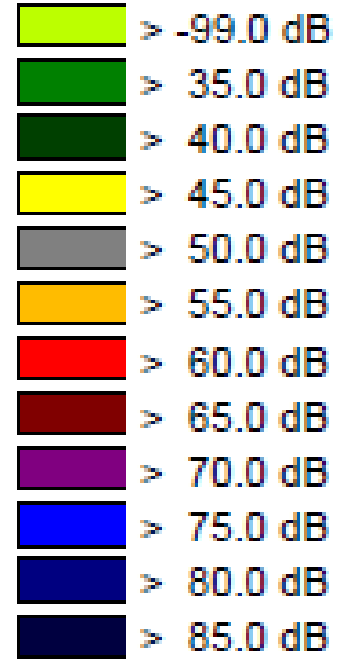
(a)



(b)

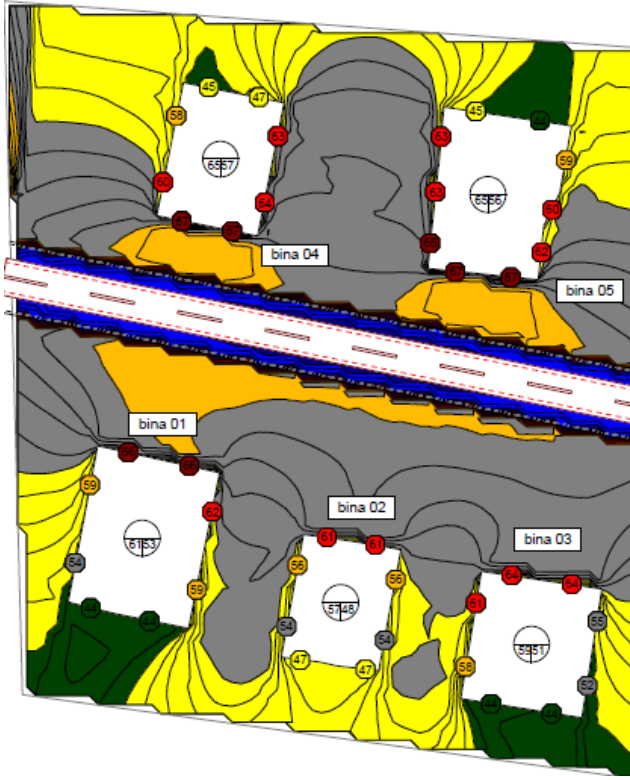


(c)



(d)

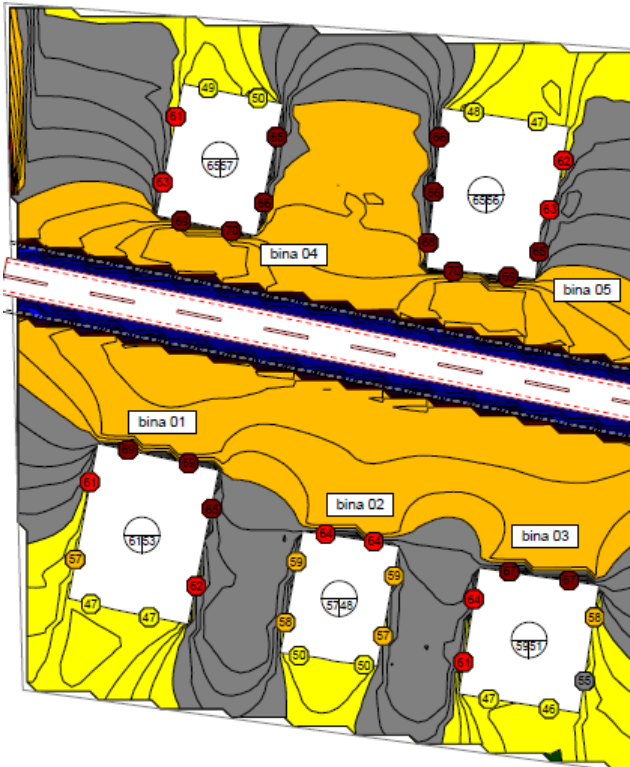
Şekil A.8 : Gürültü haritaları: 7m yutucu tip ($\alpha=0,3$) BA gürültü bariyeri durumu
(a)Lgündüz. (b) Lākşam. (c) Lgag. (d)Legant



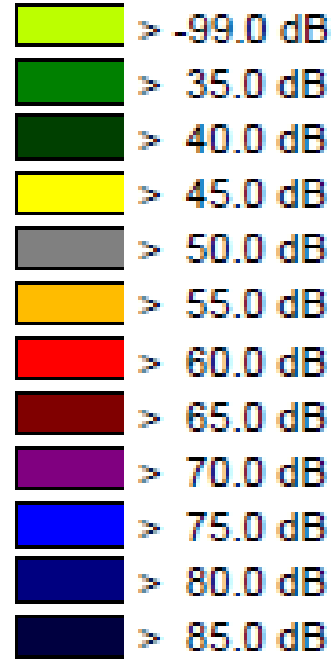
(a)



(b)

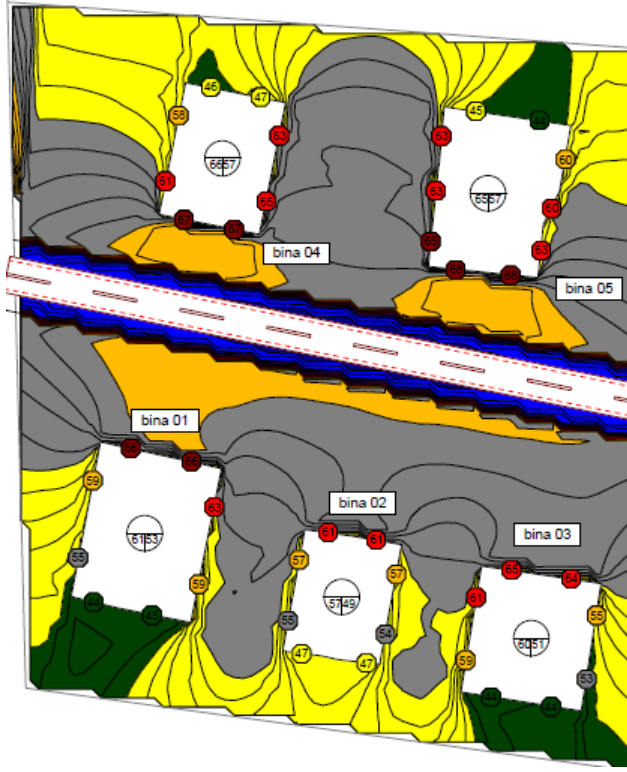


(c)

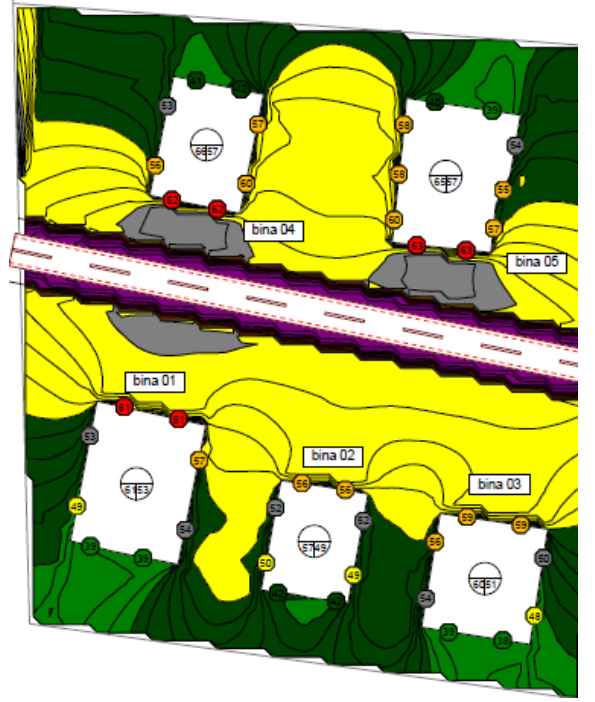


(d)

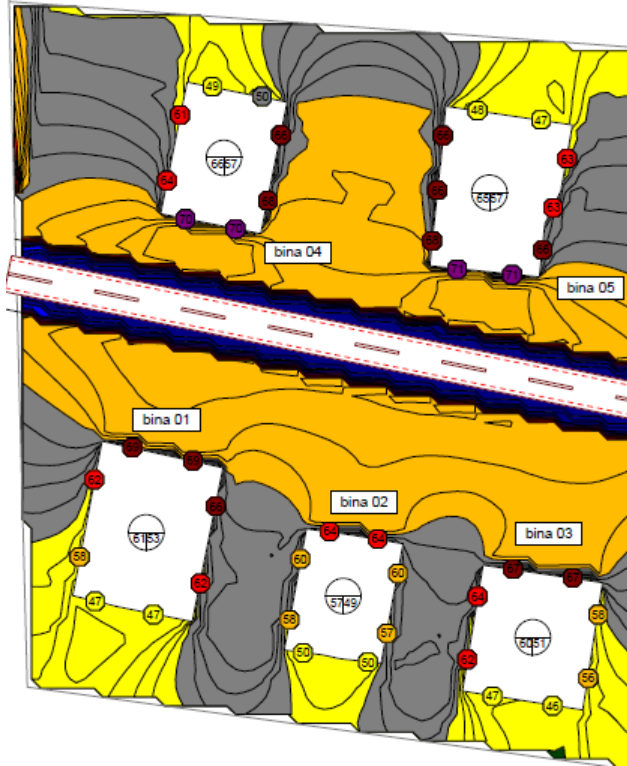
Şekil A.9 : Gürültü haritaları: Yola bakan eğik tip başlıklı 7m yutucu tip ($\alpha=0,3$) BA gürültü bariyeri durumu (a) Lgündüz. (b) Lakşam. (c) Lgag. (d) Legant



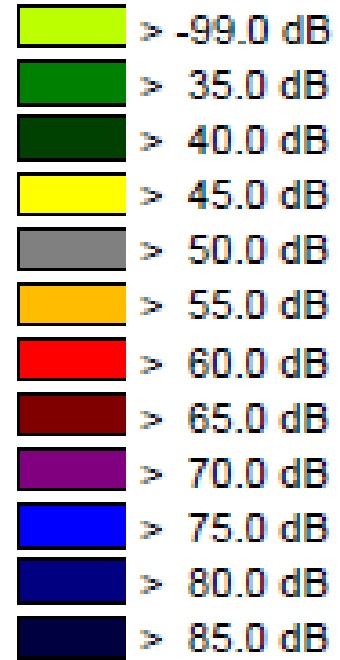
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil A.10 : Gürültü haritaları: T tipi başlıklı 7m yutucu tip ($\alpha=0,3$) BA gürültü bariyeri durumu (a) $L_{gündüz}$. (b) $L_{akşam}$. (c) L_{gag} . (d) Legant

EK B: Ekonomik Fayda Değeri Hesabı

Çizelge B.1: BA ve perlit kaplamalı BA gürültü bariyeri inşası durumları için enflasyon oranında arttırılan ve indirgenen (%2,5) faydaların yıllara göre dağılımı

YIL	Enflasyon	BA Bariyer İnşa Faydası [\$] İndirgen memiş	Perlit Kaplamalı BA Bariyer İnşa Faydası [\$] İndirgenm emiş	Fayda Farkı [\$] İndirgenme miş	İndirgeme Oranı	BA Bariyer İnşa Faydası [\$] İndirgenmiş	Perlit Kaplamalı BA Bariyer İnşa Faydası [\$] İndirgenmiş	Fayda Farkı [\$] İndirgenmemiş
1	%6	2.150,4	2.889,6	739,2	%2,5	2.150,4	2.889,6	739,2
2	%6	2.279,4	3.063,0	783,6	%2,5	2.223,8	2.988,3	764,4
3	%6	2.416,2	3.246,8	830,6	%2,5	2.299,8	3.090,3	790,5
4	%5	2.537,0	3.409,1	872,1	%2,5	2.355,9	3.165,7	809,8
5	%5	2.663,8	3.579,5	915,7	%2,5	2.413,3	3.242,9	829,6
6	%5	2.797,0	3.758,5	961,5	%2,5	2.472,2	3.322,0	849,8
7	%5	2.936,9	3.946,5	1.009,6	%2,5	2.532,5	3.403,0	870,5
8	%5	3.083,7	4.143,8	1.060,0	%2,5	2.594,2	3.486,0	891,8
9	%4	3.207,1	4.309,5	1.102,4	%2,5	2.632,2	3.537,0	904,8
10	%4	3.335,4	4.481,9	1.146,5	%2,5	2.670,7	3.588,8	918,1
11	%4	3.468,8	4.661,2	1.192,4	%2,5	2.709,8	3.641,3	931,5
12	%4	3.607,5	4.847,6	1.240,1	%2,5	2.749,5	3.694,6	945,1
13	%4	3.751,8	5.041,5	1.289,7	%2,5	2.789,7	3.748,7	959,0
14	%4	3.901,9	5.243,2	1.341,3	%2,5	2.830,5	3.803,5	973,0
15	%4	4.058,0	5.452,9	1.394,9	%2,5	2.871,9	3.859,2	987,2
16	%4	4.220,3	5.671,0	1.450,7	%2,5	2.914,0	3.915,7	1.001,7
17	%4	4.389,1	5.897,9	1.508,8	%2,5	2.956,6	3.973,0	1.016,3
18	%4	4.564,7	6.133,8	1.569,1	%2,5	2.999,9	4.031,1	1.031,2
19	%3	4.701,6	6.317,8	1.616,2	%2,5	3.014,5	4.050,8	1.036,2
20	%3	4.842,7	6.507,3	1.664,7	%2,5	3.029,2	4.070,5	1.041,3
21	%3	4.988,0	6.702,6	1.714,6	%2,5	3.044,0	4.090,4	1.046,4
22	%3	5.137,6	6.903,6	1.766,0	%2,5	3.058,9	4.110,3	1.051,5
23	%3	5.291,7	7.110,8	1.819,0	%2,5	3.073,8	4.130,4	1.056,6
24	%3	5.450,5	7.324,1	1.873,6	%2,5	3.088,8	4.150,5	1.061,8
25	%3	5.614,0	7.543,8	1.929,8	%2,5	3.103,8	4.170,8	1.066,9
26	%3	5.782,4	7.770,1	1.987,7	%2,5	3.119,0	4.191,1	1.072,1
27	%3	5.955,9	8.003,2	2.047,3	%2,5	3.134,2	4.211,6	1.077,4
28	%3	6.134,6	8.243,3	2.108,8	%2,5	3.149,5	4.232,1	1.082,6
29	%3	6.318,6	8.490,6	2.172,0	%2,5	3.164,8	4.252,8	1.087,9
30	%3	6.508,2	8.745,3	2.237,2	%2,5	3.180,3	4.273,5	1.093,2
31	%3	6.703,4	9.007,7	2.304,3	%2,5	3.195,8	4.294,3	1.098,6
32	%3	6.904,5	9.277,9	2.373,4	%2,5	3.211,4	4.315,3	1.103,9
33	%3	7.111,6	9.556,3	2.444,6	%2,5	3.227,0	4.336,3	1.109,3
34	%3	7.325,0	9.842,9	2.518,0	%2,5	3.242,8	4.357,5	1.114,7
35	%3	7.544,7	10.138,2	2.593,5	%2,5	3.258,6	4.378,8	1.120,1
36	%3	7.771,1	10.442,4	2.671,3	%2,5	3.274,5	4.400,1	1.125,6
37	%3	8.004,2	10.755,6	2.751,4	%2,5	3.290,5	4.421,6	1.131,1
38	%3	8.244,3	11.078,3	2.834,0	%2,5	3.306,5	4.443,1	1.136,6
39	%2	8.409,2	11.299,9	2.890,7	%2,5	3.290,4	4.421,5	1.131,1
40	%2	8.577,4	11.525,9	2.948,5	%2,5	3.274,3	4.399,9	1.125,6
41	%2	8.748,9	11.756,4	3.007,5	%2,5	3.258,4	4.378,4	1.120,1
42	%2	8.923,9	11.991,5	3.067,6	%2,5	3.242,5	4.357,1	1.114,6
43	%2	9.102,4	12.231,4	3.129,0	%2,5	3.226,7	4.335,8	1.109,2
44	%2	9.284,5	12.476,0	3.191,5	%2,5	3.210,9	4.314,7	1.103,8
45	%2	9.470,1	12.725,5	3.255,4	%2,5	3.195,3	4.293,6	1.098,4
46	%2	9.659,5	12.980,0	3.320,5	%2,5	3.179,7	4.272,7	1.093,0
47	%2	9.852,7	13.239,6	3.386,9	%2,5	3.164,2	4.251,8	1.087,7
48	%2	100.49,8	13.504,4	3.454,6	%2,5	3.148,7	4.231,1	1.082,4
49	%2	102.50,8	13.774,5	3.523,7	%2,5	3.133,4	4.210,5	1.077,1
50	%2	104.55,8	14.050,0	3.594,2	%2,5	3.118,1	4.189,9	1.071,8
Toplam	-	298.488,8	401.094,3	102.605,5	-	148.777,3	199.919,5	51.142,2

EK C: Ekonomik Maliyet Değeri Hesabı

Çizelge C.1: BA Gürültü bariyeri inşası durumu için enflasyon oranında arttırılan maliyetlerin yıllara göre dağılımı.

YIL	Bariyer İnşa Maliyeti [\$]	Bariyer Kısmi Değişimi Maliyeti [\$]	Bariyer Gen. Boyama Maliyeti [\$]	Koruyucu Boyama Maliyeti [\$]	Genel Bakım Onarım Temzilik Maliyeti [\$]	Yıllar	Enflasyon
1	68.880					2013	%6
2						2014	%6
3						2015	%6
4						2016	%5
5				49	5.064	2017	%5
6						2018	%5
7						2019	%5
8						2020	%5
9						2021	%4
10		1.068		61	6.341	2022	%4
11						2023	%4
12						2024	%4
13						2025	%4
14						2026	%4
15				74	7.714	2027	%4
16						2028	%4
17						2029	%4
18						2030	%4
19						2031	%3
20		1.551	8.828	88	9.206	2032	%3
21						2033	%3
22						2034	%3
23						2035	%3
24						2036	%3
25				102	10.672	2037	%3
26						2038	%3
27						2039	%3
28						2040	%3
29						2041	%3
30		2.085		119	12.372	2042	%3
31						2043	%3
32						2044	%3
33						2045	%3
34						2046	%3
35				138	14.343	2047	%3
36						2048	%3
37						2049	%3
38						2050	%3
39						2051	%2
40		2.747	15.636	156	16.306	2052	%2
41						2053	%2
42						2054	%2
43						2055	%2
44						2056	%2
45				173	18.003	2057	%2
46						2058	%2
47						2059	%2
48						2060	%2
49						2061	%2
50		3.349		191	19.877	2062	%2
Toplam	68.880	10.801	24.464	1.150	100.020	-	-
Genel Toplam	205.314						

Çizelge C.2: Perlit kaplamalı BA gürültü bariyeri inşası durumu için enflasyon oranında arttırılan maliyetlerin yıllara göre dağılımı.

YIL	Bariyer İnşa Maliyeti [\$]	Bariyer Kısmi Değişimi Maliyeti [\$]	Perlit Kaplama Maliyeti [\$]	Kaplama Kısmi Değişim Maliyeti [\$]	Tıkanıklık Temizlik Maliyeti [\$]	Genel Bakım Onarım Temizlik Maliyeti [\$]	Yıllar	Enflasyon
1	68.880		7.616	381	224		2013	%6
2				404	237		2014	%6
3				428	252		2015	%6
4				449	264		2016	%5
5				472	277	5.064	2017	%5
6				495	291		2018	%5
7				520	306		2019	%5
8				546	321		2020	%5
9				568	334		2021	%4
10		1.068		591	347	6.341	2022	%4
11				614	361		2023	%4
12				639	376		2024	%4
13				664	391		2025	%4
14				691	406		2026	%4
15				719	423	7.714	2027	%4
16				747	440		2028	%4
17				777	457		2029	%4
18				808	475		2030	%4
19				833	490		2031	%3
20		1.551		858	504	9.206	2032	%3
21				883	520		2033	%3
22				910	535		2034	%3
23				937	551		2035	%3
24				965	568		2036	%3
25				994	585	10.672	2037	%3
26				1.024	602		2038	%3
27				1.055	620		2039	%3
28				1.086	639		2040	%3
29				1.119	658		2041	%3
30		2.085		1.152	678	12.372	2042	%3
31				1.187	698		2043	%3
32				1.223	719		2044	%3
33				1.259	741		2045	%3
34				1.297	763		2046	%3
35				1.336	786	14.343	2047	%3
36				1.376	809		2048	%3
37				1.417	834		2049	%3
38				1.460	859		2050	%3
39				1.489	876		2051	%2
40		2.747		1.519	893	16.306	2052	%2
41				1.549	911		2053	%2
42				1.580	930		2054	%2
43				1.612	948		2055	%2
44				1.644	967		2056	%2
45				1.677	986	18.003	2057	%2
46				1.711	1.006		2058	%2
47				1.745	1.026		2059	%2
48				1.780	1.047		2060	%2
49				1.815	1.068		2061	%2
50	68.880			1.852	1.089		2062	%2
Toplam Genel Toplam	68.880	10.801	7.616	52.857	31.093	100.020	-	-
	271.274							

Çizelge C.3: Yıllara göre indirgenmiş ve indirgenmemiş net para akış tablosu.

YIL	BA Bariyer İnşa Maliyeti [\$] İndirgenmemiş	BA Bariyer İnşa Maliyeti [\$] İndirgenmiş	Perlit Kaplamalı BA Bariyer İnşa Maliyeti [\$] İndirgenmemiş	Perlit Kaplamalı BA Bariyer İnşa Maliyeti [\$] İndirgenmiş	Yıllar	İndirgeme Oranı	Enflasyon
1	68.880	68.880	77.101	77.101	2013	%2,5	%6
2			641	625	2014	%2,5	%6
3			680	647	2015	%2,5	%6
4			714	663	2016	%2,5	%5
5	5.113	4.632	5.814	5.266	2017	%2,5	%5
6			787	695	2018	%2,5	%5
7			826	712	2019	%2,5	%5
8			867	730	2020	%2,5	%5
9			902	740	2021	%2,5	%4
10	7.470	5.981	8.347	6.684	2022	%2,5	%4
11			976	762	2023	%2,5	%4
12			1.015	773	2024	%2,5	%4
13			1.055	785	2025	%2,5	%4
14			1.097	796	2026	%2,5	%4
15	7.788	5.512	8.856	6.267	2027	%2,5	%4
16			1.187	820	2028	%2,5	%4
17			1.234	832	2029	%2,5	%4
18			1.284	844	2030	%2,5	%4
19			1.322	848	2031	%2,5	%3
20	19.673	12.306	12.120	7.581	2032	%2,5	%3
21			1.403	856	2033	%2,5	%3
22			1.445	860	2034	%2,5	%3
23			1.488	864	2035	%2,5	%3
24			1.533	869	2036	%2,5	%3
25	10.775	5.957	12.252	6.773	2037	%2,5	%3
26			1.626	877	2038	%2,5	%3
27			1.675	881	2039	%2,5	%3
28			1.725	886	2040	%2,5	%3
29			1.777	890	2041	%2,5	%3
30	14.575	7.122	16.288	7.959	2042	%2,5	%3
31			1.885	899	2043	%2,5	%3
32			1.942	903	2044	%2,5	%3
33			2.000	908	2045	%2,5	%3
34			2.060	912	2046	%2,5	%3
35	14.480	6.254	16.466	7.111	2047	%2,5	%3
36			2.186	921	2048	%2,5	%3
37			2.251	925	2049	%2,5	%3
38			2.319	930	2050	%2,5	%3
39			2.365	925	2051	%2,5	%2
40	34.845	13.302	21.467	8.194	2052	%2,5	%2
41			2.461	916	2053	%2,5	%2
42			2.510	912	2054	%2,5	%2
43			2.560	907	2055	%2,5	%2
44			2.611	903	2056	%2,5	%2
45	18.175	6.132	20.668	6.973	2057	%2,5	%2
46			2.717	894	2058	%2,5	%2
47			2.771	890	2059	%2,5	%2
48			2.827	886	2060	%2,5	%2
49			2.883	881	2061	%2,5	%2
50	23.416	6.983	26.168	7.803	2062	%2,5	%2
Toplam	225.191	143.062	291.152	180.482	-	-	-

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Metehan ÇALIŞ
Doğum Yeri ve Tarihi: Konya 1981
Adres: Kozyatağı Mah. Kayasultan Sk. Zarbun Sitesi 57/B
KADIKÖY / İSTANBUL
E-Posta: mcalis@tse.org.tr
Lisans: İTÜ – İnşaat Müh. ve Çevre Müh. (ÇAP)
Yüksek Lisans: İTÜ – İnşaat Fak. Ulaştırma Mühendisliği
Mesleki Deneyim ve Ödüller:
İstanbul Büyükşehir Belediyesi – Mühendis / Ocak 2006 – Eylül 2006
Türk Standardları Enstitüsü – Mühendis / Eylül 2006 – Temmuz 2013
Türk Standardları Enstitüsü – Müdür / Temmuz 2013 – (halen)

Yayın ve Patent Listesi:

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- Öztürk T., Öztürk Z. , ÇALIŞ, M., 2012: A Case Study on Acoustic Performance and Construction Costs of Noise Barriers. *Scientific Research and Essays*, Vol. 7(50), pp.4213-4229, 24 Aralık 2012.
- ÇALIŞ, M., 2014: Ses Yutucu Perlitli Kaplamaların Beton Gürültü Bariyerlerinde Kullanımı. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt 1 Sayı 2, sf 47-56, 24 Aralık 2014.
- ÇALIŞ, M., Yonar, F., 2011: Trafik Gürültüsünü Azaltmak İçin Kullanılan Kaplama ve Yüzey Tabakaları Üzerine Bir Araştırma, 9. *Ulusal Akustik Kongresi Bildiriler Kitabı*, Sf 30-38, 26-27 Mayıs 2011.
- Öztürk Z. , ÇALIŞ, M., 2011: Gürültü Perdelerinin Tasarım ve Seçim Kriterleri. *Transist 2011 IV. Ulaşım Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, sf 478-476, 01-02 Aralık 2011.

