



**ULAşIM GÜRÜLTÜSÜ KONTROLÜNDE
BARİYER KULLANIMI VE
BİO-BARİYER UYGULAMALARI**

Yüksek Lisans Tezi

Ceren ÜNVER

Eskişehir 2019

**ULAşIM GÜRÜLTÜSÜ KONTROLÜNDE BARİYER KULLANIMI VE
BİO-BARİYER UYGULAMALARI**

Ceren ÜNVER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mimarlık Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Aşlı ÖZÇEVİK BİLEN**

**Eskişehir
Eskişehir Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Haziran 2019**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ceren Ünver'in “Ulaşım Gürültüsü Kontrolünde Bariyer Kullanımı ve Bio-Bariyer Uygulamaları” başlıklı tezi 28/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Mimarlık Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Ünvanı-Adı-Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Doç. Dr. Aslı ÖZÇEVİK BİLEN

.....

Üye : Prof. Dr. Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ

.....

Üye : Doç. Dr. Özgül YILMAZ KARAMAN

.....

.....

Enstitü Müdürü

ÖZET

ULAŞIM GÜRÜLTÜSÜ KONTROLÜNDE BARIYER KULLANIMI VE BİO-BARIYER UYGULAMALARI

Ceren ÜNVER

Mimarlık Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2019

Danışman: Doç. Dr. Aslı ÖZÇEVİK BİLEN

Karayolu gürültüsü; kent yapılanmasını oluşturan karayolu ağının kentsel mekâna yayılımı nedeniyle en yüksek maruziyetin gözleendiği çevresel gürültü kaynağıdır. Kent içi alanlarda, karayolu ağının kullanıcıyla yakın teması nedeniyle maruziyet seviyesi artmakta; gürültü kontrolü zorunluluk olarak kendini göstermektedir. Etkili gürültü kontrolü, gürültü oluşumuna etki eden bileşenler üzerinde alınacak önlemlerin uygulama alanının genişletilmesiyle sağlanabilir. Gürültü bariyerleri; kaynak ve alıcı arasında bağımsız olarak konumlanabilmesiyle geniş uygulama alanına sahip olması ve hesaplama ilkeleri doğrultusunda mevcut ihtiyaca yönelik uygulanabilmesiyle gürültü kontrolünde etkili bir çözüm sunmaktadır.

Bariyer tasarımlarında ahşap, metal, beton, blok, plastik, cam gibi yapay ya da toprak dolgu, bitki örtüsü gibi doğal malzemeler kullanılabilir. Kent içi alanlarda yüksek yapılaşma yoğunluğunda olumsuzluklar gözlenen çevresel koşulların iyileştirilmesi için bitkilerin işlevsel özelliklerinden faydalanılarak yaşam kalitesinin yükseltilmesi sağlanabilir. Doğal malzemelerin gürültü kontrolünde etkin sonuç vermesi için uygulanacağı alan ihtiyacının yapay malzemelere göre fazla olduğu bilinmektedir. Kent içi alanlarda geniş boşluklar bulunmadığından; bitkileri kendi yapılarına dâhil etmek üzere tasarlanmış bio-bariyerler; bitkisel materyal kullanımına alternatif bir çözüm sunmaktadır.

Bio-bariyer uygulamalarında; yapısal eleman ve bitkisel materyal katmanlarının birlikte kurgulanmasına yönelik yapım sistemleri kullanılmaktadır. Araştırmalar sonucunda; akademik çalışmalarda bio-bariyer yapım sistemi sınıflamalarına ilişkin farklılıklar bulunduğu ve sistem türlerinin bütünsel olarak ele alınmadığı belirlenmiştir. Bio-bariyerlerle ilgili bilgi karışıklığı, bu sistemlerin sadece estetik amaçlı kullanılmasına neden olmakta ve uygulamaların yaygınlaşmasını engellemektedir.

Çalışmanın amacı; bio-bariyer uygulama alanlarının genişletilmesi için yapım sistemlerinin sınıflandırılmasıyla ilgili karışıklığın giderilmesi ve uygulamaların sistematik bir biçimde sınıflanmasıdır. Çalışma kapsamında; bio-bariyer yapım sistemlerinin referans kaynaklarda tanımlanmış olan içerikleri değerlendirilerek, yapım sistemleri ortak başlıklarda toplanmış; akademik çalışmalarla birlikte endüstriyel ürünlerin araştırılmasıyla sistem kapsamı geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel gürültü, Karayolu gürültüsü, Gürültü kontrolü, Gürültü bariyerleri, Bio-bariyerler

ABSTRACT

THE USE OF BARRIERS IN TRANSPORT NOISE CONTROL AND BIO-BARRIER APPLICATIONS

Ceren ÜNVER

Department of Architecture

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, June 2019

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Aşlı ÖZÇEVİK BİLEN

Road traffic noise is the source of environmental noise where the highest exposure is observed due to the propagation of the road network into urban space. In urban areas, due to the close encounter of the road network with the users, the level of exposure increases and noise control arises as an obligation. Effective noise control can be achieved by expanding the scope of application of measures to be taken on components that affect noise generation. Noise barriers provide an effective solution in noise control by being positioned independently between source and receiver, having a wide range of applications and applying them to current needs in accordance with calculation principles.

In barrier designs, artificial materials such as wood, metal, concrete, block, plastic, glass or natural materials such as earth fill and vegetation can be used. In urban areas, quality of life can be improved by using the functional features of plants, in order to improve the environmental conditions, which have negative effects due to high construction density. It is known that the space requirement of natural materials to provide effective results in noise control is higher than that of artificial materials. Due to the absence of wide spaces in urban areas, bio-barriers designed to incorporate plants into their structures; provides an alternative solution to the use of plant material.

In bio-barrier applications, construction systems are used to build structural and vegetal material layers together. As a result of the researches, it was determined that there are differences in the classification of bio-barrier construction system in academic studies and system types are not considered as holistic. The confusion of information on bio-barriers causes these systems to be used for only aesthetic purposes and prevents to become widespread of these applications.

The aim of the study is, to eliminate the confusion related to the classification of construction systems and to classify the applications systematically in order to spread the bio-barrier application areas. Within the scope of the study, the contents of bio-barrier construction systems defined in the reference sources were evaluated and construction systems were gathered under common titles and the scope of the system was improved by researching industrial products other than academic studies.

Keywords : Environmental noise, Highway noise, Noise control,
Noise barriers, Bio-barriers

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez sürecim boyunca;

Bilgi ve deneyimleri ile beni yönlendiren tez danışmanım Doç. Dr. Aslı Özçevik Bilen'e,

Eğitimimi tamamlamda katkısı olan bölüm arkadaşlarıma,

Sabır ve destekleriyle beni yalnız bırakmayan büyüklerim Ali Yalçın, Hulusi Buyan ve Fercan Yavuz'a, iş arkadaşlarım Özgür Erten ve Şevket Dönmez'e,

Her anımı paylaşan Can Korkut'a,

Her zaman yanımda olduğunu hissettiğim Meriç Fero'ya,

Tüm hayatım boyunca yardımlarını, desteklerini ve güvenlerini esirgemeyen sevgili babam Serdar Ünver, sevgili annem Ülker Ünver, sevgili abim Cüneyt Ünver ve çekirdek ailemizin parçaları İrem Ünver ve Derin Ünver'e,

Varlıkları için teşekkür ederim.

Ceren Ünver

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

Ceren Ünver

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xii
GRAFİKLER DİZİNİ	xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
GÖRSELLER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ VE KONTROLÜ.....	5
2.1. Ses, Gürültü, Gürültü Düzeyleri ve Etkileri.....	5
2.2. Çevresel Gürültü ve Kaynakları.....	8
2.2.1. Ulaşım gürültüsü.....	11
2.2.1.1. Karayolu gürültüsü	12
2.2.1.2. Demiryolu gürültüsü	12
2.2.1.3. Havayolu gürültüsü	13
2.2.1.4. Suyolu gürültüsü.....	14
2.2.2. Endüstriyel gürültü.....	14
2.2.3. Şantiye gürültüsü	15
2.2.4. Ekipman gürültüsü	15
2.2.5. Kentsel kullanım gürültüsü.....	16
2.3. Çevresel Gürültü Kontrolü	16
2.3.1. Ulaşım gürültüsü kontrolü.....	18
2.3.1.1. Karayolu gürültüsü kontrolü	18
2.3.1.2. Demiryolu gürültüsü kontrolü	19
2.3.1.3. Havayolu gürültüsü kontrolü	20
2.3.1.4. Suyolu gürültüsü kontrolü.....	21

2.3.2.	Endüstriyel gürültü kontrolü.....	21
2.3.3.	Şantiye gürültüsü kontrolü	22
2.3.4.	Ekipman gürültüsü kontrolü	23
2.3.5.	Kentsel kullanım gürültüsü kontrolü.....	23
2.4.	Karayolu Ulaşım Gürültüsü Kontrol Önlemleri.....	26
2.4.1.	Eğitsel önlemler	26
2.4.2.	Yasal önlemler.....	26
2.4.3.	Planlama önlemleri	30
2.4.4.	Teknik önlemler	32
2.4.5.	Biyolojik önlemler	33
3.	GÜRÜLTÜ KONTROLÜNDE BARIYER UYGULAMALARI.....	38
3.1.	Gürültü Bariyerlerinde Akustik Parametreler	41
3.1.1.	Sesin kaynak tipi	41
3.1.2.	Ses gücü düzeyi.....	44
3.1.3.	Sesin frekansı / dalga boyu.....	45
3.2.	Gürültü Bariyerlerinde Fizyografik Parametreler	46
3.2.1.	Moleküler yutuculuk	47
3.2.2.	Atmosfer koşulları	50
3.2.3.	Zemin türü.....	51
3.3.	Gürültü Bariyerlerinde Geometrik Parametreler	52
3.3.1.	Bariyer konumu	53
3.3.2.	Bariyer yapısı	56
3.3.3.	Bariyer malzemesi.....	80
3.3.3.1.	Ahşap malzemeler	88
3.3.3.2.	Metal malzemeler	89
3.3.3.3.	Beton malzemeler	92
3.3.3.4.	Plastik malzemeler.....	95
3.3.3.5.	Cam malzemeler	96
3.3.3.6.	Blok malzemeler	98
3.3.3.7.	Kompozit malzemeler	100
3.3.3.8.	Geri dönüşümlü malzemeler	101

	<u>Sayfa</u>
3.3.3.9. Akustik malzemeler	103
3.3.3.10. Toprak yığın bariyerler	105
3.3.3.11. Bitkisel bariyerler	108
3.3.3.12. Bio-bariyerler	124
4. BİO-BARİYER TASARIMI VE UYGULAMALARI	129
4.1. Bio-Bariyer Tasarım İlkeleri	129
4.2. Bio-Bariyerlerde Bitkisel Materyaller	131
4.3. Bio-Bariyerlerde Yapı Malzemeleri	134
4.4. Bio-Bariyer Yapım Sistemleri	136
4.4.1. Dikey Bio-Bariyerler	142
4.4.1.1. Bitkilenmiş duvarlar	146
4.4.1.2. Yeşil cepheler	149
4.4.1.3. Dikey bahçeler	155
4.4.2. Oluklu Bio-Bariyerler	165
4.4.3. Çerçevesiz Bio-Bariyerler	168
4.4.4. Destekli Bio-Bariyerler	171
4.4.5. Yaşayan Bio-Bariyerler	177
4.4.6. Yığın Bio-Bariyerler	182
5. SONUÇ	189
KAYNAKÇA	195
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Gürültü düzeyleri ve etkileri	7
Tablo 2.2. Gürültü düzeyindeki artışın algısal karşılığı	8
Tablo 2.3. Çevresel gürültü kaynaklarının sınıflanması	10
Tablo 2.4. Sürdürülebilirlik ölçütleri ile yaşam kalitesi göstergeleri.....	35
Tablo 3.1. Gürültü düzeyindeki azalmanın algısal karşılığı	40
Tablo 3.2. Çeşitli trafik hacimleri için tespit edilen gürültü düzeyleri	44
Tablo 3.3. Havanın yutuculuğu nedeniyle 1000 m.'de oluşan ses düzeyi azalmaları	49
Tablo 3.4. Bariyer tasarımında yapısal uygulamaların sınıflanması.....	65
Tablo 3.5. Gürültü bariyerlerinde yapısal uygulamalar	67
Tablo 3.6. Gürültü bariyeri malzemelerinin akustik fonksiyonlarının karşılaştırılması	82
Tablo 3.7. Bariyer tasarımında kullanılan malzemelerin sınıflanması	87
Tablo 3.8. Farklı ahşap malzemelerin ses iletim kaybı değerleri.....	89
Tablo 3.9. Farklı metal malzemelerin ses iletim kaybı değerleri.....	92
Tablo 3.10. Farklı beton malzemelerin ses iletim kaybı değerleri.....	94
Tablo 3.11. Farklı şeffaf plastik malzemelerin ses iletim kaybı değerleri	96
Tablo 3.12. Cam malzemenin ses iletim kaybı değeri	98
Tablo 3.13. Farklı blok malzemelerin ses iletim kaybı değerleri.....	100
Tablo 3.14. Farklı kompozit malzemelerin ses iletim kaybı değerleri.....	101
Tablo 3.15. Farklı geri dönüşümlü malzemelerin ses yutma katsayıları.....	103
Tablo 3.16. Farklı akustik malzemelerin ses yutma katsayıları	105
Tablo 3.17. Bitkisel bariyerlerin gürültü azalmasına etkisi	109
Tablo 3.18. Bitkisel bariyer uygulamalarındaki parametreler	113
Tablo 3.19. Bitki yoğunluğunun gürültü azalmasına etkisi	117
Tablo 4.1. Bariyerin eğim yönünün bitki örtüsüne etkisi.....	132
Tablo 4.2. Bio-bariyer yapım sistemlerinin gruplanması.....	140
Tablo 4.3. Dikey yeşil sistem uygulamaları.....	145
Tablo 4.4. Dikey yeşil cephe bio-bariyer ürünleri	152
Tablo 4.5. Dikey bahçe bio-bariyer ürünleri	163
Tablo 4.6. Bitkilendirilmiş tepe profili ek gürültü kaybı	166
Tablo 4.7. Çerçevesiz bio-bariyer ürünleri.....	169
Tablo 4.8. Destekli bio-bariyer ürünleri.....	174

Sayfa

Tablo 4.9. Yaşayan bio-bariyer ürünleri	180
Tablo 4.10. Yığın bio-bariyer ürünleri	185
Tablo 4.11. Torba yığın bio-bariyer ürün performansı	186
Tablo 5.1. Bio-bariyer yapım sistemlerinin sınıflandırılması	191
Tablo 5.2. Bio-bariyer yapım sistemlerinin kapsamlarının geliştirilmesi.....	192
Tablo 5.3. Bio-bariyer performanslarının diğer bariyer malzemeleri ile karşılaştırılması	194



GRAFİKLER DİZİNİ

Sayfa

Grafik 2.1. AB üye ülkelerinde kaynak tipine bağlı gürültü maruziyeti	24
Grafik 2.2. Desibel grubu başına gürültüye maruz kalan kişi sayısı	25
Grafik 3.1. Çizgi kaynaktan yayılan gürültünün azalım grafiği	42
Grafik 3.2. Kaynak tipine bağlı olarak ses düzeyinde uzaklıkla oluşan azalma değeri.	42
Grafik 3.3. Farklı araçlarda hıza bağlı tespit edilen gürültü düzeyleri	44
Grafik 3.4. Farklı araçlarda frekansa bağlı tespit edilen gürültü düzeyleri	46
Grafik 3.5. Havanın yutuculuğu nedeniyle uzaklığa ve frekansa bağlı ses düzeyi azalmaları	49
Grafik 3.6. Bariyer etkinliği nedeniyle uzaklığa ve frekansa bağlı ses düzeyi azalmaları	50
Grafik 3.7. Bariyer konumunun kaynak-alıcı ilişkisi	54
Grafik 3.8. Bariyer yüksekliğinin gürültü azalmasına etkisi	59
Grafik 3.9. Bariyer kalınlığının gürültü azalmasına etkisi	60
Grafik 3.10. Yutuculuğun frekansa dayalı değişimi	82
Grafik 3.11. Farklı geri dönüşümlü malzemelerin ses yutma katsayıları	103
Grafik 3.12. Toprak yığın bariyerlerde yüzey eğimi - malzeme türü ilişkisi	106
Grafik 3.13. Yüzey eğimi - bitki bakımı ilişkisi	107
Grafik 3.14. Bitkisel bariyerlerin gürültü düzeyine etkisi	109
Grafik 3.15. Bitkisel bariyer derinliği ve yüksekliğinin gürültü azalmasına etkisi	114
Grafik 3.16. Bitkisel bariyer derinliği ve uzunluğunun gürültü azalmasına etkisi	115
Grafik 3.17. Bitki gövde çapının gürültü azalmasına etkisi	121
Grafik 3.18. Bitkisel ve yapısal gürültü bariyerleri performans karşılaştırması	123
Grafik 4.1. Farklı yoğunluklu toprak uygulamalarının ses yutma katsayıları	134
Grafik 4.2. Farklı bariyer konfigürasyonları karşılaştırması	161
Grafik 4.3. Keçe katmanlı dikey bahçe sistemi performansı	162

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Karayolu gürültüsü kontrolünde mimari tasarım	32
Şekil 3.1. Gürültü bariyeri çalışma prensibi	38
Şekil 3.2. Bariyerlerle akustik gölge elde edilmesi	39
Şekil 3.3. Frekansa bağlı ses kırınması.....	45
Şekil 3.4. Dış ortamda sesin yayılma mekanizması	47
Şekil 3.5. Sıcaklık değişkeninin bariyer yapılanması ile etkileşimi	48
Şekil 3.6. Rüzgar değişkeninin bariyer yapılanması ile etkileşimi.....	50
Şekil 3.7. Zemin türüne bağlı ses düzeyi azalmaları	52
Şekil 3.8. Bariyer konumunun gürültü azalmasına etkisi	55
Şekil 3.9. Bariyer konumu ile arazi kesiti ilişkisi.....	56
Şekil 3.10. Bariyer uzunluğunun gürültü azalmasına etkisi	57
Şekil 3.11. Bariyer uzunluğunun belirlenmesi	58
Şekil 3.12. Bariyer uzunluğunun bariyer formu ile düzenlenmesi	58
Şekil 3.13. Bariyer uzunluğunun sonlandırılması	59
Şekil 3.14. Bariyer yüksekliğindeki artışın gürültü azalmasına etkisi	60
Şekil 3.15. Toprak yığın bariyer ve dikey bariyer yerleşim karşılaştırması.....	108
Şekil 3.16. Bitkisel bariyer dikim şeması yerleşimleri	117
Şekil 3.17. Bitki türünün frekansa bağlı gürültü azalmasına etkisi	119
Şekil 3.18. Bitki türünün gürültü azalmasına etkisi.....	120
Şekil 3.19. Bitkisel ve yapısal gürültü bariyeri uygulamalarıyla tespit edilen gürültü düzeyleri.....	123
Şekil 3.20. Yapısal, bitkisel, toprak yığın bariyer ve bio-bariyer yerleşim karşılaştırması	127
Şekil 3.21. Toprak yığın bariyer ve bio-bariyer boyutu karşılaştırması	127
Şekil 4.1. Bitkilenmiş duvar uygulaması.....	148
Şekil 4.2. Bitkilenmiş duvar uygulaması tip kesiti	148
Şekil 4.3. Yeşil cephe uygulama yöntemleri	149
Şekil 4.4. Yeşil cephe uygulaması tip kesiti.....	155
Şekil 4.5. Dikey bahçe uygulaması tip kesiti.....	164
Şekil 4.6. Bariyer duvarında dikim olukları	165
Şekil 4.7. Bitkilendirilmiş tepe profili kesiti	166

Şekil 4.8. Bariyer tepe profilinde dikim olukları.....	167
Şekil 4.9. Oluklu bio-bariyer tip kesiti	167
Şekil 4.10. Çerçevesli taşıyıcı sistem arasındaki panel yüzeyinde bitkilendirme.....	168
Şekil 4.11. Çerçevesli taşıyıcı sistem üzerine asılı dikim ortamı içinde bitkilendirme .	169
Şekil 4.12. Çerçevesli bio-bariyer tip kesiti	170
Şekil 4.13. Destekli bio-bariyer dikey duvar uygulaması	171
Şekil 4.14. Destekli bio-bariyer tip kesiti	176
Şekil 4.15. Yaşayan bio-bariyer uygulaması	177
Şekil 4.16. Toprak dolgulu yaşayan bio-bariyer.....	178
Şekil 4.17. Ahşap yüzey kaplamalı yaşayan bio-bariyer.....	179
Şekil 4.18. Dal örgü yüzey kaplamalı yaşayan bio-bariyer.....	179
Şekil 4.19. Yutucu malzeme dolgulu yaşayan bio-bariyer	181
Şekil 4.20. Yaşayan bio-bariyer tip kesiti.....	182
Şekil 4.21. Prefabrikat yığın bio-bariyer yapımlar sistemleri.....	183
Şekil 4.22. Yığın bio-bariyer tip kesiti	187

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 3.1. Bariyer önünde bitkilendirme uygulaması	111
Görsel 3.2. Yol kenarında orta ve sık yoğunlukta bitki örtüsü	116
Görsel 4.1. Bitkilenmiş duvar uygulamaları	147
Görsel 4.2. Modüler kafes panel sistem uygulaması.....	149
Görsel 4.3. Kablo ve tel örgü ağ sistem uygulaması.....	150
Görsel 4.4. Yeşil cephe uygulaması	150
Görsel 4.5. Modüler kafes panel sistem bio-bariyer uygulaması.....	151
Görsel 4.6. Kablo ve tel örgü ağ sistem bio-bariyer uygulaması	151
Görsel 4.7. Taş yünü panel üzeri çelik kafes çerçeve uygulaması.....	153
Görsel 4.8. Mineral yün panel üzeri çelik kafes çerçeve uygulaması	154
Görsel 4.9. Modüler sistem dikey bahçe uygulaması	156
Görsel 4.10. Köpük katmanlı sistem dikey bahçe uygulaması	157
Görsel 4.11. Mineral yün katmanlı sistem dikey bahçe uygulaması.....	158
Görsel 4.12. Keçe katmanlı sistem dikey bahçe uygulaması	159
Görsel 4.13. Modüler sistem bio-bariyer uygulaması	160
Görsel 4.14. Modüler sistem bio-bariyer uygulaması	160
Görsel 4.15. Modüler sistem dikey bahçe uygulaması yapılmış beton bariyer	161
Görsel 4.16. Dikey bio-bariyer modüler sistem ürün uygulaması	163
Görsel 4.17. Dikey bio-bariyer modüler sistem ürün uygulaması	164
Görsel 4.18. Destekli bio-bariyer açılı duvar uygulaması.....	172
Görsel 4.19. Destekli bio-bariyer dikey duvar uygulaması.....	172
Görsel 4.20. Ahşap destekli bio-bariyer uygulaması	173
Görsel 4.21. Çelik destekli bio-bariyer uygulaması.....	173
Görsel 4.22. Plastik destekli bio-bariyer uygulaması.....	173
Görsel 4.23. Destekli bio-bariyer modüler duvar ürün uygulaması.....	175
Görsel 4.24. Destekli bio-bariyer açılı duvar ürün uygulaması	176
Görsel 4.25. Çelik yığın bio-bariyer	183
Görsel 4.26. Prekast yığın bio-bariyer	184
Görsel 4.27. Prekast yığın bio-bariyer ürünü	185
Görsel 4.28. Torba yığın bio-bariyer ürünü	186

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

dB	:	Desibel
dB(A)	:	dB birimi ile ölçülen sesin insan kulağı tarafından algısal karşılığını gösteren filtrelerden A-filtresi birimi
Hz	:	Hertz
kHz	:	Kilohertz
Leq	:	Equivalent Continuous Sound Level Eşdeğer Gürültü Düzeyi
IL	:	Insertion Loss Ek Gürültü Kaybı
DL α	:	Havadaki ses yutma performansının birim derecesi
DL _R	:	Havadaki ses azalması performansının birim derecesi
R	:	Üçte biri oktav bandında ses azaltma indeksi
α	:	Ses yutma çarpanı
km	:	Kilometre
m	:	Metre
cm	:	Santimetre
mm	:	Milimetre
m ²	:	Metrekare
sa	:	Saat
dk	:	Dakika
H	:	Yükseklik
L	:	Uzunluk
ga	:	Çelik mazleme ölçü birimi
kg	:	Kilogram

CEDR	:	Conference of European Directors of Roads Avrupa Yol Yöneticileri Konferansı
ÇGEP	:	Çevresel Gürültü Eylem Planı
ÇGDYY	:	Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği
ÇGÖDK	:	Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Kılavuzu
EAA	:	European Environment Agency Avrupa Çevre Ajansı
END	:	Environmental Noise Directive Avrupa Birliği Çevresel Gürültü Direktifi
EPD	:	Environmental Protection Department Çevre Koruma Departmanı (Hong Kong)
FHWA	:	Federal Highway Administration Federal Karayolu İdaresi (Amerika Birleşik Devletleri)
GovHK	:	The Government of the Hong Kong Hong Kong Hükümeti
ISO	:	International Organization for Standardization Uluslararası Standartlar Organizasyonu
OECD	:	Organisation for Economic Co-operation and Development Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
T.C.	:	Türkiye Cumhuriyeti
WHO	:	World Health Organization Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Gürültü; insan sağlığını fiziksel, fizyolojik ya da psikolojik olarak tehdit eden sağlık sorunlarının ötesinde, bireysel şikâyetlerden toplumsal reaksiyonlara kadar etki alanını genişletebilen bir çevresel kirlilik problemidir . Gürültü probleminin toplumsal sonuçları değerlendirildiğinde, kent kullanıcılarına temas eden gürültü kaynaklarının tespit edilmesi ve gürültü problemine karşı eyleme geçilmesi gerekmektedir.

Çevresel gürültü; insan faaliyetleri tarafından yaratılan, insan sağlığına zararlı ve yaşam kalitesine olumsuz etkisi olduğu düşünülen istenmeyen açık hava sesleridir ve kent kullanıcılarına gündelik hayatta sürekli ve doğrudan temas etmektedir. Çevresel gürültü kaynakları, gürültünün olduğu alanın işlevine göre gruplanmaktadır. Kaynak türüne ilişkin farklı sınıflandırmalardan faydalanılmış olmakla birlikte; çevresel gürültü kaynakları temel olarak ulaşım gürültüsü, endüstriyel gürültü, şantiye gürültüsü, ekipman gürültüsü, kentsel gürültü olarak sınıflandırılmıştır (Yılmaz & Özer, 1997), (END, 2002), (Erdoğan & Yazgan, 2007), (Demirkale & Aşcıgil, 2007), (Kurra, 2009), (ÇGDYY, 04.06.2010), (ÇGÖDK, 2011), (Kurra & Dal, Sound insulation design by using noise maps, 2012), (Murph, 2014), (Muralikrishna & Manickam, 2017), (WHO, 2018). Çevresel gürültü kaynağının kent üzerindeki etki alanı, gürültü kaynağının işlevsel yayılımı ile ilgilidir. Çevresel gürültü kaynaklarının etki alanı ve insan sağlığının korunması için sağlanması gereken gürültü düzeyleri birlikte yorumlandığında, gürültüye maruz kalan kullanıcıların konforu için gürültü kontrolünün zorunlu bir ihtiyaç olduğu belirlenmiştir.

Gürültü kontrolü; herhangi bir ses kaynağından yayılan gürültü niteliğine sahip sesleri kabul edilebilir seviyeye indirmek, akustik özelliğini değiştirmek, etki süresini azaltmak, hoş giden veya daha az rahatsız eden bir başka ses ile maskelemek gibi yöntemlerle zararlı etkilerini tamamen veya kısmen yok etmek için yapılan işlemleri kapsamakta (Kurra, 2009) ve kaynak, kaynak-alıcı arasın ya da alıcı üzerinde uygulanabilmektedir (ÇGDYY, 04.06.2010). Gürültü kontrolünde, kullanıcı sağlığının korunması için yetkili idarece belirlenen, aşılması halinde yetkili idarece dikkate alınan ve azaltıcı tedbirlerin uygulamaya konulmasına yol açan kabul edilebilir gürültü düzeylerinin sağlanması gerekmektedir (ÇGDYY, 04.06.2010), (Özçevik, 2012). Gürültü oluşumuna etki eden bileşenlerin kabul edilebilir sınır değerleri sağlanması için gürültü maruziyetine karşı uygulanabilecek kontrol yöntemleri kaynak türüne göre özelleşmektedir. Daha fazla sayıda kullanıcının gürültü tehdidine karşı koruma altına

alındığı, kent genelinde etkili olacak alternatif bir çözüm önerisi getirilebilmesi için; kullanıcıya en yüksek oranda etki eden çevresel gürültü kaynak türü tespit edilmeli ve eyleme geçilmelidir.

Karayolu gürültüsü; karayolu ağının yoğunluğunun diğer kaynaklara göre daha fazla olması nedeni ile kentsel kullanımda birinci derece gürültü etkenidir. Kent içi ve kent dışı alanlarda gürültüye maruz kalan insan sayısı kentleşme yoğunluğuyla orantılı olarak değişmektedir ve kent içi alanlarda karayolu gürültüsü yüksek kullanım yoğunluğunun, kent kullanıcılarına yakın ve doğrudan teması nedeni ile gürültü maruziyetinde ilk sırayı almaktadır (EAA, 2014). Kent içi karayolu gürültüsü, en fazla kullanıcıya temas etmesiyle kontrol altına alınması gereken birincil gürültü tehdididir.

Karayolu gürültüsü kontrolü; gürültü oluşumuna etki eden bileşenler üzerinde yapılacak *önlem uygulamaları* ile sağlanmaktadır. Karayolu gürültüsüne karşı; kullanıcıların bilgilendirilmesiyle *eğitsel önlemler*, mevzuat düzenlemeleriyle *yasal önlemler*, kaynak alıcı ilişkisi düzenlemeleriyle *planlama önlemleri*, sistem çözümleriyle *teknik önlemler* ve bitkisel materyal uygulamalarıyla *biyolojik önlemler* kapsamında, kent kullanıcısı korumaya alınabilir (Yılmaz & Özer, 1997). Karayolu gürültüsü kontrolü için başvuru yöntemlerinde, mevcut ulaşım ağının yayılımı nedeniyle en fazla kullanıcıya temas ediyor olduğu ve kent merkezinin yüksek yapılaşma oranı içerisinde bu yoğun dokuda en etkili önlem önerisinin uygulanması gerektiği dikkate alındığında; kaynakta ve alıcıda gürültü kontrolünün sağlanması kullanıcı iradesine ve teknik yapılanmaya bağlı olduğundan, kişisel tercihler ile ilişkilidir ve her zaman mümkün olmamaktadır. Kaynak-alıcı arasında yapılabilecek gürültü bariyeri uygulamaları; bağımsız olarak konumlanabilmesi ve geniş bir uygulama alanına sahip olmasıyla daha geniş bir kitlenin ihtiyacını karşılayabilmesi ve hesaplama ilkeleriyle mevcut ihtiyaca yönelik uygulanabilmesi doğrultusunda gürültü kontrolünde etkili bir çözüm sunmaktadır.

Gürültü bariyerleri; sesin yansyarak daha uzun yol almasını ya da sesin yutulmasına neden olarak gürültü düzeyinin azalmasını sağlayan yükselticilerdir ve uygulama alanına bağlı olarak; ahşap, metal, beton, blok, plastik, cam gibi yapay malzemeler ya da toprak dolgu, bitki örtüsü gibi doğal malzemeler kullanılabilir. Kent içi alanlarda yapılaşmanın artmasıyla olumsuzluklar gözlenen doğal yaşam ve dengenin korunabilmesi için; bitkisel materyalin çevresel koşulların iyileştirilmesini sağlayacak ekosistem işlevlerinden faydalanılarak öneriler getirilmesi sürdürülebilir çevre

ölçütlerinin desteklenmesi ile yaşam kalitesinin yükseltilmesini sağlamaktadır. Yapay malzemelerin gürültü azaltma performanslarının yüksek olduğu, doğal malzemelerin ise gürültü denetiminde etkin sonuç vermesi için uygulanacak alan derinliğinin yapı elemanı kullanımına göre fazla olduğu bilinmektedir (Kotzen & English, 1999), (Watts & Morgan, 2005), (Erdoğan & Yazgan, 2007), (Bjelić & diğerleri, 2012), (Halim & diğerleri, 2015). Bu durum karşısında; bitkisel materyalin işlevsel özellikleri ve gürültü kontrolünün sağlanabilmesi için yapısal elemanların etkinliğinden faydalanılarak bariyer uygulama önerileri getirilmiş; akustik etkinlikleri beraberinde yaşam kalitesinin yükseltilmesine de fayda sağlayan, yapı malzemeleri ve bitkisel materyallerin birlikte çalışma prensiplerini içeren entegre uygulamalar olan “bio-bariyerler” gürültü bariyeri uygulamalarında alternatif bir çözüm önerisi olarak sunulmuştur.

Bio-bariyerler; bitkilendirmeyi tasarımlarının ayrılmaz bir parçası olarak içeren (Kotzen & English, 1999), bitkileri kendi yapılarına dahil etmek üzere tasarlanmış olan (CEDR, 2017), canlı bitki örtüsünden yapılmış (Watts & Morgan, 2005), toprak ve bitki örtüsünü kullanarak serbest duran (Abbas & diğerleri, 2011) gürültü bariyerleridir. Canlı bir materyal içeren katmanlaşma niteliğine bağlı olarak, yapısal elemanlarla teşkil edilmiş gürültü bariyerlerinden farklı tasarım ilkeleri doğrultularında uygulanmaktadırlar. Yapısal eleman ve bitkisel materyal katmanlarının etkileşimi dikkate alınmalı; bitkisel materyalin ihtiyacı karşılanırken, yapısal elemanın yüzey dayanımı sağlanmalıdır. Bio-bariyer uygulamalarında; yapısal eleman ve bitkisel materyal katmanlarının birlikte kurgulanmasına yönelik yapım sistemleri kullanılmaktadır.

Bio-bariyer yapım sistemleri ile ilgili çalışmış olan akademik kaynak içeriklerinde (Farnham & Beimborn, 1990), (Kotzen & English, 1999), (Watts & Morgan, 2005), (Thompson & Sorvig, 2008), (Bendtsen, 2009), (HOSANNA, 2009), (Wong & diğerleri, 2010), (GovHK, 2012), (Yamamoto, 2015), (Lacasta & diğerleri, 2016), (Thomazelli & diğerleri, 2016), (CEDR, 2017) ; bio-bariyer yapım sistemi başlıklarının tamamının hiçbir kaynakta bütünsel olarak işlenmediği görülmüş ve bio-bariyer yapım sistemi gruplandırmaları, tanımlamaları ve kapsamlarına ilişkin farklılıklar bulunduğu tespit edilmiştir. Bio-bariyerlerle ilgili bu bilgi karışıklığı, bu sistemlerin sadece estetik amaçlı kullanılmasına neden olmakta ve uygulamaların yaygınlaşmasını engellemektedir.

Tez çalışmasının amacı; gürültü kontrolünde bio-bariyer uygulamalarının tercih edilebilir kılınması ve uygulama alanlarının genişletilmesi için bio-bariyer yapım sistemlerinin sınıflandırılmasıyla ilgili karışıklığın giderilmesidir. Tez çalışması kapsamında; bio-bariyer yapım sistemlerinin akademik kaynaklarda farklı tanımlanmış olan içerikleri değerlendirilerek bu tanımlar ortak başlıklarda toplanmış, ortak başlık içeriğindeki tüm uygulamaların belirtilmesi amacı ile literatür taraması ile birlikte güncel uygulamalar da içeriğe dahil edilmiştir. Araştırmalar sonucunda, bio-bariyer yapım sistemlerinin akademik çalışmalarla kısıtlı kalmadığı; üretici firmalar tarafından alternatif sistem önerileriyle geliştirilmiş olduğu belirlenmiş, endüstriyel ürünlerin araştırılması ile içerikler geliştirilmiştir.



2. ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ VE KONTROLÜ

2.1. Ses, Gürültü, Gürültü Düzeyleri ve Etkileri

İnsan kulağında işitsel duyulanma yaratan maddesel ortam titreşimlerine *ses* denir. Ses titreşimleri dalga hareketi ile yayılır. Titreşen bir nesne, statik denge konumundan ayrıldığında, önündeki havayı iter ve sıkıştırır. Aynı anda, titreşen nesnenin arkasında ani bir basınç azlığı oluşur ve hava arkadaki bu boşluğu hızla doldurur. Bu yolla havadaki basınç değişimleri uzak noktalara iletilir ve hava, ses dalgaları olarak bilinen devinime sokulmuş olur. Hava basıncı değişimleri ile işitme organına ulaşan ses titreşimleri daha sonra beyne iletilen sinirsel bir uyarıya dönüşür ve duyu kaydedilir.

Ses dalgalarının içinden geçtiği ortam içerisindeki partikülleri ne sıklıkla titrettiği bilgisi frekans olarak adlandırılır. Saniyedeki titreşim sayısı özel olarak Hertz (Hz) birimi ile ifade edilir. İnsan kulağının duyabildiği sesler 20 ile 20000 Hz (20kHz) arasında frekansa sahip olabilir. Frekans, sesin incelik-kalınlık durumunu belirler; periyot ve dalga boyu ile ilişkilidir. Periyot, bir titreşimin süresine devir süresi denir. İnce sesler çabuk titreşimli (devir süresi kısa), kalın sesler yavaş titreşimli (devir süresi uzun) seslerdir. Dalga boyu, titreşim hareketinin yayılışı sırasında, bir devir süresi içinde gittiği uzaklığın adıdır. Kalın seslerin dalga boyu uzun, ince seslerin dalga boyu kısadır.

Ses dalgalarının taşıdıkları enerjiye bağlı olarak birim alana uyguladıkları kuvvet bilgisi ses basıncı olarak adlandırılır ve bu kuvvet watt/m^2 olarak ifade edilir. Ölçülen seslerin güç, yeğlilik ve basınçları bir referans düzeye göre ve logaritmik olarak ifade edildiğinde elde edilen değerler ‘düzey’ adını almaktadır. Ses şiddetinin ölçüsüne *ses düzeyi* denir ve ses düzeyi birimi desibel(dB)’dir. Düzey, sesin azlık-çokluk durumunu belirler.

İnsan kulağı, düşük frekans aralığında (1-4 kHz) sese karşı çok düşük veya orta frekanslarda (1000-4000 kHz) sese karşı daha yüksek duyarlılıktadır. Kullanılan ekipmanlar tarafından ölçülen sesin insan kulağı tarafından nasıl algılandığını gösteren akustik filtreler kullanılmaktadır ve genellikle A,B,C ağırlıklama olarak bilinirler. Bu filtreler göre ses düzeyleri; dB(A), dB(B) ve dB(C) cinsinden ifade edilebilir. Sonuç olarak dB ölçülen değeri, dBA ise kulağımızın algıladığı sesi verir. Bu filtreler arasında çevresel gürültü ölçüm ve değerlendirmelerinde genellikle kullanılmakta olan A ve C filtreleri aşağıda açıklanmaktadır. (ÇGÖDK, 2011)

- dB (A) filtresi yaygın olarak kullanılır. dB (A), kabaca insan kulağı için 40 dB (1 kHz'de) eşit-yükseklik eğrisinin tersine karşılık gelir. Bu filtre ile ses seviyesi ölçer çok yüksek ve çok düşük frekanslara karşı daha az hassastır.
- dB (C) filtresi pratik olarak birkaç oktav üzerine doğrusaldır ve çok yüksek ses basınç seviyelerinde sübjektif ölçümler için uygundur (EngineeringToolBox).

Gürültü; fiziksel olarak düzensiz, fizyolojik olarak rahatsızlık veren, istenmeyen ses olarak tanımlanır ve insanları; frekansına, düzeyine ve süresine göre etkilemekte, rahatsız etmektedir. Sesin frekans dağılımına ve ses düzeyinin zamanla değişim şekline bağlı olarak gürültünün karakteri tanımlanabilmektedir. Yüksek frekanslı ses bileşenlerinden oluşan gürültüler, daha alçak frekanslı ses bileşenlerinden oluşan gürültülere göre daha rahatsız edicidir. Gürültünün zaman içindeki düzey değişimine bağlı olarak; gürültüde kalma süresi ne kadar uzunsa, işitme kaybı o denli artar.

Ses düzeyinin kişiler üzerinde; kişinin gürültüye maruz kalma süresi, kişisel duyarlılığı, yaşı, kulak yapısı ve konumu gibi değişkenler doğrultusunda farklı etkileri bulunmaktadır (Erdoğan & Yazgan, 2007).

Gürültünün insan sağlığı üzerindeki etkileri; fiziksel, fizyolojik ya da psikolojik olabilir.

- Fiziksel etkenler; işitme hasarları vb.
- Fizyolojik etkenler; vücutta, kalp atışında, metabolizma üzerinde ve uyku düzeninde görülen bozukluklar vb.
- Psikolojik etkiler; sinir sistemi bozuklukları, aşırı tepki, tedirginlik duygusu vb.
- Performans etkileri; eylem üzerinde konuşma, dinleme, anlama, konsantrasyon bozuklukları vb. durumlar ile gözlenmektedir (ÇGÖDK, 2011).

Erdoğan ve Yazgan; Ertekin ve Çorbacı; Ilgar tarafından yapılan çalışmalarda ve T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Kılavuzu'nda; gürültü kaynağı türleri, seviyeleri, gürültüye maruz kalma süresi ve insan üzerinde etkileri konularına değinilmiştir. Bu kapsamda, kaynaklarında verilmiş bilgiler derlenerek; gürültü kaynağı türleri, seviyeleri, gürültüye maruz kalma süresi ve insan üzerinde etkileri Tablo 2.1 üzerinde açıklanmıştır.

Tablo 2.1. Gürültü düzeyleri ve etkileri

(Erdoğan & Yazgan, 2007) (Ertekin & Çorbacı, 2010), (ÇGÖDK, 2011) (İlgar, 2012)

Gürültü Kaynağı	Gürültü Seviyesi	Tesir	Maruz Kalma Süresi (Max)
Tüfek patlaması	> 120 dB	Duyuma kaybı, kulak ağrısı, beyin hasarları	
Askeri uçakların alçak uçuşu, yerde	120 dB	Acı eşiği, işitme organında geçici olmayan hasar, denge bozukluğu; Konuşma durumu zorlaşır	7 dk
Rock konseri	115 dB	Kan basıncı artışı, solunumda hızlanma, ani refleksler, baş ağrısı; Bağırarak konuşma gözlenir	15 dk
Gece kulübü	110 dB		30 dk
Bağırma	105 dB		1 sa
Fabrika gürültüsü, el ile tutulan beton kırıcı, deliciler, matkap, çim biçme makinesi	100 dB		2 sa
Tren yolu	95 dB		4 sa
Metroda bulunan tren	90 dB	İşitme organında tahribat; Yüksek sesle konuşma gözlenir	8 sa
Gürültülü bir cadde	75 dB	Uzun vadede duyma kaybı	-
Ağır trafik	65 dB	Kalp-kan dolaşımı, ruhsal-sinirsel rahatsızlıklar	-
Yüksek sesle konuşma	55 dB	Rahatsızlık seviyesi, öfke, kızgınlık	-
Normal konuşma	45 dB	Konsantrasyon bozukluğu	-
Ortalama bir ev	35 dB	Uyku bozukluğu	-
Sessiz bir oda	30 dB	Süre uzamadıkça rahatsızlık hissedilmez	-
Fısıltı	20 dB		-
İnsan nefes alış-veriş	10 dB		-
	0 dB	Duyuma eşiği	-

Tablo verileri incelendiğinde, gürültü düzeyi arttıkça insan sağlığı üzerinde sırasıyla; olumsuz performans etkileri, psikolojik etkiler, fizyolojik etkiler ve fiziksel etkiler gözlenmektedir. Gürültü düzeyinin artması ile gürültüye maruz kalınabilecek süre kısalmaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından 2011 yılında hazırlanan rapora göre; Avrupa’da çevresel gürültü kaynaklı sağlık sorunları ile ilgili veriler incelenmiştir. Rapor kapsamında; erken ölüm nedeniyle kaybedilen olası yaşam yılları ve sağlıksızlık veya engellilik durumlarında olmaları nedeniyle kaybedilen “sağlıklı” yaşam yıllarının toplamı hesaplanarak gürültü etkisi ifade edilmiştir. Bu kapsamda;

- Rahatsızlık; 50.000 üzeri nüfusa etkisi ile 587.000 yaşam yılı kaybı,
- Uyku bozukluğu; 50.000 üzeri nüfusa etkisi ile 90.300 yaşam yılı kaybı,
- Dolaşım problemleri; 61.000 yaşam yılı kaybı,
- Kulak hasarları; yetişkinler üzerinde 22.000 yaşam yılı kaybı,
- Algısal bozukluklar; 7-19 yaş arası çocuklar üzerinde 45.000 yaşam yılı kaybına neden olmuştur. (Murph, 2014)

Gürültü düzeyindeki artış bireysel sağlık sorunlarının ötesinde; şikâyetlerden toplumsal reaksiyonlara kadar etki alanını genişletebilir. Gürültü seviyesindeki artışın toplumsal olarak algısal karşılığı Tablo 2.2 üzerinde belirtilmektedir. (ÇGÖDK, 2011)

Tablo 2.2. *Gürültü düzeyindeki artışın algısal karşılığı*
(ÇGÖDK, 2011)

Gürültü Düzeyinde Artış (dB)	Özel Değerlendirme	Algılanan Ses Değişimi (%)
0	Artış yok	Fark Edilemez
3	Hafif Artış	Fark Edilir
5	Az Artış	Aralıklı Şikayetler
7	Orta Artış	Rahatsızlık
10	Yüksek Artış	Geniş Çaplı Şikayetler
15	Çok Yüksek Artış	Grup Reaksiyonları

İnsan sağlığı üzerindeki fiziksel, psikolojik ve toplumsal etkileri beraberinde; gürültü düzeyleri, kentsel alanın ekonomik değerini belirleyebilir ve kentsel gelişim sürecini yönetebilir. Üretimde; işçi verimliliğini düşürmesi, düşük üretim faaliyetlerinin gerçekleşmesi ve işçi ve işveren arasında karşılıklı memnuniyetsizliğe neden olması gibi sonuçlar ortaya çıkarmaktadır (Muralikrishna & Manickam, 2017).

Araştırma sonuçları gürültü probleminin etki alanının toplumsal dağılımındaki sonuçlarını ifade etmektedir. Gürültü probleminin etki alanı değerlendirildiğinde; kent kullanıcılarına temas eden gürültü kaynaklarının tespit edilmesi ve gürültü problemine karşı eyleme geçilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda; kent yapılanmasında kullanıcıya temas eden çevresel gürültü ve kaynakları incelenmiştir.

2.2. Çevresel Gürültü ve Kaynakları

Çevresel gürültü; insan faaliyetleri tarafından yaratılan, insan sağlığına zararlı ve yaşam kalitesine olumsuz etkisi olduğu düşünülen istenmeyen sesler olarak ifade edilmektedir (END, 2002). Çevresel gürültü; ulaşım araçları, kara yolu trafiği, demir yolu trafiği, hava yolu trafiği, deniz yolu trafiği, açık alanda kullanılan teçhizat, şantiye alanları, sanayi tesisleri, atölye, imalathane, işyerleri ve benzeri ile rekreasyon ve eğlence yerlerinden çevreye yayılan gürültü dâhil olmak üzere, insan faaliyetleri neticesinde oluşan zararlı veya istenmeyen açık hava seslerini kapsamaktadır (ÇGDYY, 04.06.2010).

Çevresel gürültü kaynakları ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda, kaynak türüne ilişkin farklı sınıflandırmalardan faydalanılmıştır. Bu kapsamda kaynak türleri ile ilgili edinilen içerikler ana başlıklar altında gruplandırılarak derlenmiştir.

(END, 2002), çevresel gürültü kaynaklarını aşağıdaki başlıklarda sınıflamaktadır.

- Karayolu gürültüsü
- Demiryolu gürültüsü
- Havayolu gürültüsü
- Endüstriyel gürültü
- İnsan etkinliklerine ilişkin gürültüler

(Kurra, 2009), çevresel gürültü kaynaklarını aşağıdaki başlıklarda sınıflamaktadır.

- Ulaşım gürültüleri (Karayolu, demiryolu, havayolu)
- Endüstri ve donatım gürültüsü
- Şantiye gürültüleri
- Yerleşim ve ticaret alanı gürültüsü

(ÇGDYY, 04.06.2010), çevresel gürültü kaynakları aşağıdaki başlıklarda sınıflamaktadır.

- Ulaşım gürültüleri (Karayolu, raylı sistem, havaalanı, su yolu)
- Açık alanda kullanılan ekipman gürültüleri
- Üretim tesisi gürültüleri (İşletme, tesis ve işyerleri)
- Şantiye alanı gürültüleri
- Rekreasyon ve eğlence yeri gürültüleri

(ÇGÖDK, 2011), çevresel gürültü kaynaklarını aşağıdaki başlıklarda sınıflamaktadır.

- Ulaşım gürültüleri (Karayolu, denizyolu, demiryolu, uçak ve havaalanı gürültüleri)
- Endüstri gürültüleri (Endüstriye ait araç, gereç ve makineler ile işyerlerindeki çeşitli faaliyetlerden doğan gürültüler)
- Yapım (şantiye) gürültüleri (Yol ve bina yapım işlerinin ve yapım makinelerinin gürültüleri)
- İnsan etkinliklerine ilişkin gürültüler (Yüksek sesle konuşma, bağırma, çocuk sesleri, spor alanları, atış alanları, radyo TV ve müzik sesleri vb)
- Eğlence ve ticari amaçlı gürültüler (Açık hava sinemaları, eğlence yerleri, yükseltilmiş reklamlar, satıcı sesleri, kaset ve plakçıların müzik sesleri gibi)

(Murph, 2014), çevresel gürültü kaynaklarını aşağıdaki başlıklarda sınıflamaktadır.

- Ulaşım gürültüsü (Karayolu, demiryolu, havayolu)
- Endüstriyel ve şantiye tipi gürültü (Fabrika, liman, havaalanı, rüzgar türbini, yapım)

(WHO, 2018), çevresel gürültü kaynaklarını aşağıdaki başlıklarda sınıflamaktadır.

- Karayolu gürültüsü
- Demiryolu gürültüsü
- Havayolu gürültüsü
- Rüzgâr türbini gürültüsü
- Eğlence gürültüsü

Referans kaynak sınıflandırmaları incelendiğinde; çevresel gürültü kaynaklarının gürültünün olduğu alanın işlevine göre gruplandığı görülmektedir. Buna göre çevresel gürültü kaynakları;

- Karayolu, havayolu, demiryolu ve su yolu gürültüleri ulaşım gürültüleri
- Endüstri, üretim ve rüzgâr türbini gürültüleri endüstriyel gürültü
- Şantiye ve yapım gürültüleri şantiye gürültüsü
- Açık havada kullanılan ekipman gürültüleri ekipman gürültüsü
- İnsan etkinlikleri, yerleşim, ticaret alanı, rekreasyon ve eğlence gürültüleri ise kentsel kullanım gürültüsü

başlıklarında toplanmış ve incelenmiştir. Bu doğrultuda yapılan çevresel gürültü kaynakları sınıflandırması Tablo 2.3 üzerinde belirtilmiştir.

Tablo 2.3. Çevresel gürültü kaynaklarının sınıflandırması

(END, 2002), (Kurra, 2009), (ÇGDYY, 04.06.2010), (ÇGÖDK, 2011), (Murph, 2014), (WHO, 2018)

KAYNAK	Çevresel Gürültü Kaynakları				
	Ulaşım Gürültüsü	Endüstriyel Gürültü	Şantiye Gürültüsü	Ekipman Gürültüsü	Kentsel Kullanım Gürültüsü
(END, 2002)	Karayolu, Demiryolu, Havayolu gürültüsü	Endüstriyel gürültü		-	İnsan etkinlikleri gürültüleri
(Kurra, 2009)	Karayolu, Demiryolu, Havayolu gürültüsü	Endüstri, Donatım gürültüsü	Şantiye gürültüsü	-	Yerleşim, Ticaret alanı gürültüsü

(ÇGDYY, 04.06.2010)	Karayolu, Demiryolu, Havayolu, Suyolu gürültüsü	Üretim tesisi gürültüleri	Şantiye gürültüsü	Açık alanda kullanılan ekipman gürültüleri	Rekreasyon, Eğlence alanı gürültüsü
(ÇGÖDK, 2011)	Karayolu, Demiryolu, Havayolu gürültüsü	Endüstri gürültüleri	Yapım gürültüleri	-	İnsan etkinlikleri, Eğlence, Ticaret gürültüleri
(Murph, 2014)	Karayolu, Demiryolu, Havayolu gürültüsü	Endüstriyel ve şantiye tipi gürültü, Rüzgâr türbini gürültüsü		-	-
(WHO, 2018)	Karayolu, Demiryolu, Havayolu gürültüsü	Rüzgâr türbini gürültüsü	-	-	Eğlence gürültüsü

Çevresel gürültü kaynakları; kaynak tanımı, gürültüyü oluşturan bileşenler, gürültü maruziyetinin yayılım alanı dâhilinde incelenmiştir. Tanım verileri, gürültü kaynağının kapsamını belirlemek için kullanılmıştır. Örneğin bir liman gürültüsü; karayolu ya da su yolu değil, endüstriyel gürültü kapsamında değerlendirilmektedir. Gürültüyü oluşturan bileşenler, gürültünün azaltılması için yönelinilecek kontrol hedeflerini belirlemiştir. Gürültü yayılım analizleri, kaynak türlerinin etki alanının belirlenmesini sağlamıştır. Gürültü yayılımının analiz edilebilmesi için gürültü haritalarından faydalanılmaktadır. Böylece gürültü haritaları yardımı ile insanların maruz kaldığı yıllık ortalama gürültü emisyonlarını harita üzerine renkler yardımıyla işlenerek görsel hale getirilmesi ve gürültüye maruz kalan alan, bu alandaki duyarlı yapı sayısı (konut, hastane, okul, işyeri vb.) ile maruz kalan kişi sayısını belirlenmektedir. Gürültü haritalarının yorumlanmasında; kaynak türü, gürültü bileşenleri, fiziksel çevre özellikleri ve toplumun demografik yapısı gibi parametreler etkili olur (Kurra & Dal, Sound insulation design by using noise maps, 2012).

2.2.1. Ulaşım gürültüsü

Ulaşım ağının kent planlamasının temel yapılanma sistemi olması nedeni ile kentlerde en çok görülen, sürekli rahatsızlık veren ve kent kullanıcılarına doğrudan temas eden gürültü çeşididir. Ulaşım ağında kullanılan araç çeşidine bağlı olarak farklı bileşenlerden oluşmaktadır. Gürültü düzeyleri kaynak türüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kaynak türünün gösterdiği ses yayılım davranışına bağlı olarak gürültü verileri yorumlanmaktadır. Ulaşım gürültüsü çeşitleri kaynak türüne göre incelenmiştir.

2.2.1.1. Karayolu gürültüsü

Karayolu gürültüsü; motorlu ve motorsuz taşıtlar, yol yapılanması ve kullanıcı davranışlarına bağlı oluşan gürültü çeşididir.

Karayolu gürültüsünde; *taşıt özellikleri*, *yol yapılanması* ve *ulaşım akımı bileşenleri* gürültü düzeyini etkilemektedir. *Taşıt özellikleri*; taşıt tipi, modeli, hızı, ivmesi, fren sistemi, lastik tipi, egzoz ve susturucu teçhizatı, yaşı, bakım durumu ve klakson özelliklerini kapsamaktadır. *Yol yapılanması*; yol genişliği, yol eğimi, kavşaklar, trafik ışıkları, yol kotu, yol yüzey kaplaması ve tünel vb. yol yapılarını kapsamaktadır. Karayolu gürültü düzeyi, bir aracın motor sisteminden kaynaklanan gürültü ile aracın lastikleri ile yol yüzeyi arasındaki etkileşime bağlı oluşan gürültüden etkilenir. Büyük ölçüde bir aracın seyahat ettiği hıza bağlıdır; düşük hızlarda, motor gürültüsü, yüksek hızlarda ise lastik-yol gürültüsü baskındır. (Murph, 2014) *Ulaşım akımı* ise; trafik akışının duraklı, duraksız ya da serbest olması, trafik hacmi, trafik araç kompozisyonu ve ortalama hız değerlendirmeleri ile ilgilidir. (Kurra, 2009) Araç kullanım gürültüsü ise kullanıcı bilinciyle bağlantılıdır.

Karayolu gürültüsünün analizinde; yol geometrisi, eğim, kavşak noktaları, yüzey kaplaması, hız, trafik hacmi, ağır araç yüzdesi, trafik akış türü, trafik ışıkları, duraksama noktaları gibi fiziksel parametreler etkili olur (Kurra & Dal, Sound insulation design by using noise maps, 2012). Karayolu ulaşım ağının kent strüktürünü oluşturan temel yapı elemanı olması nedeni ile kent geneline temas etmekte ve kent üzerinde yaygın bir maruziyet alanına sebebiyet vermektedir. Ana ulaşım arterleri üzerinde en yüksek gözlenen gürültü düzeyinin; kaynaktan uzaklaştıkça azalmakta ve bina yapılanması gibi engellerle karşılaştığında kesintiye uğramaktadır.

2.2.1.2. Demiryolu gürültüsü

Demiryolu gürültüsü; raylı ulaşım sistemi kaynaklı hava doğuşlu ses ve katı doğuşlu darbe seslerinden oluşan gürültü çeşididir.

Demiryolu gürültüsünde; tren, vagon, tren yolu ve tren hareketlerine bağlı bileşenler gürültü düzeyini etkilemektedir. Tren özellikleri; tren yükü, gücü, yakıt türü, susturucuları, fren özellikler, tekerlek yapısı, siren kullanım özelliklerini kapsamaktadır. Vagonların; ağırlıkları, tekerlek özellikleri ve ekipmanları gürültü düzeyinde etkilidir. Tren yollarının değerlendirilmesinde; ray tipi, bağlantı sistemleri, makas noktaları, dönüş noktaları, demiryolu strüktürü ve kotu, varsa tünel ve şev geometrisi, varsa

viyadük ve köprü gibi strüktür tipleri dikkate alınmalıdır. Tren hareketleri; lokomotif ve vagon sayıları, ulaşım hacmi ve ulaşım yoğunluğu, tren kompozisyonları, tren geçiş hızları, istasyon hareketleri ve ivmeleri gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Kurra, 2009). Demiryolu gürültü düzeyi; temel olarak motor gürültüsü, tekerlek gürültüsü ve aerodinamik hareketlerden etkilenmektedir. Köprü ve geçişlerde oluşan gürültü ve ray bağlantılarının neden olduğu darbe gürültüsü gibi diğer kaynaklar da oluşabilir ve başka gürültü kaynakları doğurabilir. (Murph, 2014)

Demiryolu gürültüsünün analizinde; trenlerin sayısı ve çeşitleri, ortalama hız, siren kullanımı, demiryolu yapısı (düz veya yükseltilmiş), ray tipi, balast ve bağları, köprü yapıları gibi parametreler etkili olur (Kurra & Dal, Sound insulation design by using noise maps, 2012). Demiryolu gürültüsünün ray hattının paralelinde yayılımı gözlenmektedir.

2.2.1.3. Havayolu gürültüsü

Havayolu gürültüsü; hava taşıtı hareketlerine bağlı olarak kent yaşamına etkileyen gürültü türüdür.

Havayolu gürültüsünde; hava aracı, havaalanı ve hava ulaşım özellikleri bileşenleri gürültü düzeyini etkilemektedir. Hava aracı özellikleri; türü, yapısı, işlemsel özellikleri, motor ve egzoz yapısı, çalışma tekniği, kalkış ağırlığı ve kalkış süresi ile kalkış ve iniş takımı profilleri bileşenlerini kapsamaktadır. (Kurra, 2009) Hava araçlarında gürültü oluşumu; temel olarak ekipmanların hava ile etkileşimi ile ilgilidir ve hava aracının türüne göre oluşan gürültü değişiklik gösterir. Örneğin; uçaklarda yüksek hızlı egzoz gazının nispeten daha hareketsiz olan atmosfer ile etkileşimi ile oluşan basınç dalgalanmasıyla, helikopterlerde ise pervanenin hava ile etkileşimi ile girdap oluşturmasıyla ses oluşur. (Murph, 2014) Havaalanı özellikleri; pist boyutu, pist sayısı, pist konumu, uçuş rotası koordinatları ve zemin yapılanması özelliklerini kapsar. Hava ulaşım özellikleri ise; ulaşım hacmi ve uçuş yapan araç türü yüzdeleri ile ilgilidir (Kurra, 2009).

Havayolu gürültüsünün analizinde; havaalanı planı, pist yapılandırması, uçuş süreçleri (günlük, yıllık, vb.), uçak tipleri gibi parametreler etkili olur (Kurra & Dal, Sound insulation design by using noise maps, 2012). Havayolu gürültüsünün kente hava yoluyla kesintisiz ulaşıyor olması nedeni ile geniş bir etki alanına sahiptir.

2.2.1.4. Suyolu gürültüsü

Suyolu gürültüsü; iskele, liman ve benzeri yerler ile deniz, göl, boğaz, nehir gibi su yollarında kullanılan ulaşım araçları ve kullanıcı davranışı gibi faktörlere bağlı olarak oluşan gürültü çeşididir.

Su taşıtlarının gürültü düzeyi; taşıt ve ulaşım ağı özellikleri ile bağlantılıdır. Taşıt özellikleri; araç, ekipman, susturucu, yaş, bakım, tonaj, rota, siren ve hız donanımı özelliklerini kapsamaktadır. Ulaşım ağı özellikleri ise; araç türleri ve araçların geçiş sayıları, hızları, araç rotaları, su yolu genişliği, sahilin topografik özellikleri ile ilgilidir (Kurra, 2009).

Suyolu kaynaklı gürültünün analizinde; taşıtın en yakın sahil şeridinde olan etkisi göz önünde bulundurulmaktadır (Demirkale & Aşcıgil, 2007). Suyolu gürültüsünün su yolu hattının paralelinde yayılımı gözlenmektedir.

2.2.2. Endüstriyel gürültü

Endüstriyel gürültü; endüstriyel faaliyet alanları nedeni ile oluşan gürültüdür. Sanayi tesisleri, atölyeler, dağıtım merkezleri, yükleme alanları gibi üretim işlevli yapı ve sahalar bu kapsamda değerlendirilir (Muralikrishna & Manickam, 2017). Sürdürülebilir enerji üretimi ile kullanımı yaygınlaşan rüzgar türbinleri de endüstriyel gürültü kaynağı olarak kabul edilmektedir (WHO, 2018).

Hava veya gaz akışlarında darbe, titreşim veya karşılıklı hareketler, sürtünme ve türbülansa neden olan işlemlerden kaynaklanır (Muralikrishna & Manickam, 2017). Endüstriyel gürültüde; ekipman özellikleri ve faaliyet alanları bileşenleri gürültü düzeyini etkilemektedir. Ekipman özellikleri; yapısı, devir sayısı, motor özellikleri, yapılan iş, uygulama ve tekniği, işlem süresi, ekipman konumu ve montaj özellikleri bileşenlerini kapsamaktadır. (Kurra, 2009) Endüstri gürültüsünü oluşturan etmenler; darbeler (presleme, vurma, basma v.b. araçları), mekanik olaylar (güç iletimi, kesme, tutma vb. araçları), akışkan akımlar (fanlar, komprasörler, pompalar v.b.), elektromanyetik kuvvetler (motorlar, jeneratörler, transformatörler, kaynaklar v.b.) olarak belirtmiştir (Yılmaz & Özer, 1997). Faaliyet alanı özellikleri ise; aynı anda çalışan makine sayısı, çalışma modu, konumları, endüstri yapısının mimari ve strüktürel özellikleri, yapı konumu, çevre yüzey özellikleri, varsa gürültü bariyeri konum ve özellikleri gibi faktörler ile ilgilidir. (Kurra, 2009)

Endüstriyel gürültü, bir sahadan diğerine değişebilir ve pratikte, doğru bir gürültü etki değerlendirmesi yapmak için gereken gürültü emisyonu değerini elde etmek için sahadaki her kaynak ölçülmelidir (Murph, 2014). Örneğin bir depolama sahası ya da bir tarım faaliyeti ya da bir üretim tesisi kaynaklı gürültü nitelikleri birbirinden farklı olacaktır.

Endüstriyel gürültü analizinde; açık hava etkinlikleri için yerleşim planı, fabrika yapısı özellikleri, üretim süreci, kapalı-açık ekipman özellikleri, çalışma modları (saatlik, günlük, haftalık) gibi parametreler etkili olur (Kurra & Dal, Sound insulation design by using noise maps, 2012). Endüstriyel gürültü lokal olarak işletme alanı çevresini etkilemektedir.

2.2.3. Şantiye gürültüsü

Şantiye gürültüsü; her türlü yapım-yıkım-onarım işleminde karşılaşılan gürültü çeşididir. Madencilik, kazı vb. alanlarda da saha kazı ve araştırmaları için kurulan tesislerden doğan sesler de bu kapsamda incelenmektedir.

Şantiye gürültüsü; kullanılan ekipman özellikleri ve şantiye durumu özellikleri ile bağlantılıdır. Ekipman özellikleri; kullanılan makinenin türü, yapısı, motor tipi, gücü, yapılan işin türü, çalışma süresi, operasyon tekniği bileşenlerini kapsamaktadır. Şantiye durumunun değerlendirilmesinde ise; aynı anda çalışan araç sayısı ve türleri, araçların işlemsel modu ve çalışma süresi, araçların şantiye içi konumları, şantiye içindeki toprak ve malzeme yığın setleri, yansıtıcı yüzey özellikleri, bariyer işlevi gören elemanlar ve çevre koşulları etkilidir. (Kurra, 2009)

Yapı üretimi faaliyetleri neticesinde ortaya çıkan bu gürültü kaynağı nedeniyle, endüstriyel üretim gürültüsü ile benzer yayılımlar gözlenir. Üretim faaliyetlerinden doğan sesleri kapsayan endüstriyel gürültüden farklı olarak dönemsel olarak gözlenmektedir. Şantiye gürültüsü lokal olarak şantiye alanı çevresini etkilemektedir.

2.2.4. Ekipman gürültüsü

Ekipman gürültüsü; açık havada bulunan ekipmanlardan kaynaklanan gürültülerdir. Açık alanda kullanılan ekipmanlar; hareket elemanlarına bakılmaksızın, kendinden hareketli veya hareket edebilen, tipine göre açık havada kullanılması amaçlanan ve çevre gürültüsünü artıran bütün makineler ve emniyet parçalarıdır (ÇGDYY, 04.06.2010).

Ekipman gürültüsü; kullanılan ekipman özellikleri ile bağlantılıdır. Çim biçme makinesi, yük asansörü, vinç, motorlu testere, kompresör, taşıyıcı bant, hareketli atık konteyneri, yol açma makinesi, su pompası, jeneratör gibi mekanik teçhizat gibi gürültü etki değerlendirmesi gerektirebilecek gürültü kaynağı örnekleridir (Yönetmelik, 30.12.2006).

Gürültü kaynağı olan ekipman ve bulunduğu ortamın özelliklerine göre yorumlanabilir. Ekipman gürültüsü lokal olarak çalışma alanı çevresini etkilemektedir.

2.2.5. Kentsel kullanım gürültüsü

Kentsel kullanım gürültüsü; insan eylemleri ve etkinliklerinden kaynaklanan gürültü çeşididir.

Kentsel kullanım gürültüsü; insan etkinliklerine ilişkin gürültüler (yüksek sesle konuşma, bağırma, çocuk sesleri, spor alanları, atış alanları, radyo TV ve müzik sesleri vb) ile eğlence ve ticari amaçlı gürültüleri (açık hava sinemaları, eğlence yerleri, yükseltilmiş reklamlar, satıcı sesleri, kaset ve plakçıların müzik sesleri gibi) kapsamaktadır (ÇGÖDK, 2011). Ticari alanlar ve pazar yerlerinde oluşan gürültüler, spor, okul, çocuk oyun alanları gibi kitlesel kullanımlardan kaynaklanan gürültüler bu kapsamdadır (Erdoğan & Yazgan, 2007).

Kentsel kullanım gürültüsünde; ses kaynaklarının özellikleri, işletme yapısı, alıcı durumu, kullanıcı bilinci, yerel işletme kararları gibi bileşenler gürültü düzeyini etkilemektedir.

Çevresel gürültü kaynağını oluşturan bileşenlerin; teknik yapılanma, mekanik hareketler ve kullanıcı davranışları; çevresel gürültü kaynağının kent üzerindeki etki alanının ise gürültü kaynağının işlevsel yayılımı ile ilgili olduğu görülmektedir. Gürültü kaynaklarının etki alanı değerlendirildiğinde, gürültüye maruz kalan kullanıcıların konforu için gürültü kontrolü zorunluluk olarak kendini göstermektedir.

2.3. Çevresel Gürültü Kontrolü

Gürültü kontrolü; herhangi bir ses kaynağından yayılan gürültü niteliğine sahip sesleri, kabul edilebilir seviyeye indirmek, akustik özelliğini değiştirmek, etki süresini azaltmak, hoş giden veya daha az rahatsız eden bir başka ses ile maskelemek gibi yöntemlerle zararlı etkilerini tamamen veya kısmen yok etmek için yapılan işlemleri

kapsamaktadır (Kurra, 2009). Gürültü kontrolü, gürültü düzeyinin insan sağlığının korunması için hedeflenmiş kabul edilebilir düzeye indirilmesine ilişkin uygulamalar ile sağlanmaktadır.

Kabul edilebilir gürültü düzeyleri; yetkili idarece belirlenen, aşılması halinde yetkili idarece dikkate alınan ve azaltıcı tedbirlerin uygulamaya konulmasına yol açan gürültü düzeyi değerini ifade eder (ÇGDYY, 04.06.2010). Akustik konforun sağlanması için yasalarca sınırlandırmış ve kullanıcı sağlığının korunması için belirlenmiş olan bu *sınır değerlerin* sağlanması gerekmektedir.

Gürültü kontrolü temel olarak; kaynaktan, kaynak ve alıcı arasında ve alıcıda sağlanmaktadır. (ÇGDYY, 04.06.2010)

- Kaynaktan uygulanabilecek gürültü kontrol yöntemleri; gürültü üreten ses kaynağının yapısı, işletme tekniği, oturduğu zemin, montaj biçimi ve buna benzer doğrudan kaynak ile ilgili olarak alınabilecek önlemleri;
- Kaynak ve alıcı arasında uygulanabilecek gürültü kontrol yöntemleri; yapıların dışında veya içinde yer alan gürültü kaynaklarından doğan seslerin, yapı içindeki kişilere ulaşmaya kadar yayıldığı ortamda yapılabilecek her türlü gürültü kontrol çalışmasını,
- Alıcıda uygulanabilecek gürültü kontrol yöntemleri; gürültünün azaltılamadığı ortamlarda özellikle yüksek seviyeli gürültüden korunmak için kişilerin işitme organlarının korunmasına yönelik etkilenen kişi ya da mahal üzerinde alınabilecek önlemleri kapsamaktadır.

Çalışma kapsamında, çevresel gürültü risk tespitinin yapılabilmesi için Dünya Sağlık Örgütü tarafından kaynak türüne bağlı belirlenen ya da insan sağlığının korunması için önerilen gürültü düzeyleri referans olarak ele alınmıştır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ise, kullanıcı sağlığının korunması için çevresel gürültü problemleri üzerine çalışan bir kurumdur ve gürültü yönetiminde gürültü kontrol tespitinin yapılması üzerine, var olan ve öngörülen gürültü kaynakları için gürültü standartlarının ayarlanması ile ilgili gürültü düzeylerini belirlemektedir (Özçevik, 2012). Gürültü oluşumuna etki eden bileşenlerin sınır değerleri sağlanması için gürültü maruziyetine karşı uygulanabilecek kontrol yöntemleri, kontrolün uygulanma alanına göre incelenmiştir.

2.3.1. Ulaşım gürültüsü kontrolü

2.3.1.1. Karayolu gürültüsü kontrolü

Karayolu gürültü düzeyi; ABD’de gerçekleştirilen bir araştırmaya göre 500 taşıt / saat trafik hacmine sahip bir yolda, gürültü kaynağına 30m. uzaktan alınan ölçüme göre gürültü düzeyi 78 dB(A), 60m. uzaktan alınan ölçüme göre 72 dB(A), 120 m. uzaktan alınan değere göre ise 66 dB(A) olarak saptanmıştır (Erdoğan & Yazgan, 2007). Almanya’da yapılan bir çalışmada araçların çıkardığı gürültü düzeylerine göre, motosiklet, kamyon ve otomobil şeklinde sıralanmıştır. Bunlardan motosikletin çıkardığı gürültü düzeyi susturucuların çıkarılması ve egzozlarının delinmesi ile 90 dB(A)’ya ulaşabilmektedir (Yılmaz & Özer, 1997). Tipik bir otomobil, kaynaktan 15 m uzaklıkta; 80 km/sa hızla 71 dB(A), 112 km/sa hızla 74 dB(A) ve tipik bir traktör, kaynaktan 15 m uzaklıkta; 96 km/sa hızla 86 dB(A) gürültü düzeyine sahiptir (Reethof, 1973).

75 dB üzeri gürültü uzun vadede duyma kaybı ve 90 dB üzeri gürültü işitme organında tahribat gibi sağlık problemlerine neden olmaktadır (Bkz. Tablo 2.1).

Dünya Sağlık Örgütü; karayolu günlük ortalama gürültü seviyesinin 53 dB’in, gece ise uyku üzerindeki olumsuz etkileri nedeni ile 45 dB’in altında kalması gerektiğini önermektedir (WHO, 2018).

Tipik bir karayolu gürültüsü düzeyi insan sağlığının korunması için önerilen sınır değerler ile yorumlandığında; gürültü kontrol gereksinimi görülmektedir. Sınır değerlerin sağlanması için uygulanabilecek kontrol yöntemleri aşağıda verilmiştir.

Kaynakta gürültü kontrolü için; mevzuat düzenlemeleri ile kısıtlamalar getirilebilir, düşük gürültülü yol yüzeyi uygulamaları ve yol bakımları yapılabilir, trafik yönetimi, düşük gürültülü araç lastiği ve araç motoru kullanılması ile sürücü davranışlarının yönetilmesi ile sağlanabilir (Murph, 2014). Trafik akış hızındaki değişiklik, iyileştirilmiş yol yenileme, araç kısıtlama stratejisi, yol yüzeyleri gibi müdahaleler yapılabilir (WHO, 2018). Motorlu karayolu araçlarının teknik donanım, egzoz sistemi, sesli uyarı cihazları gibi dış gürültü seviyelerine ilişkin düzenlemeler yapılmalıdır (ÇGDYY, 04.06.2010). Aynı zamanda; trafik yönetimi, yol tasarımı, hız kontrolleri, trafik akışının kontrolü, yol yüzey iyileştirmeleri, kullanıcıların çevre dostu ulaşım araçlarına ve toplu taşıma araçlarına yönlendirilmesi, araçlarda gürültü kontrolü, kamuoyunun bilinçlendirilmesi gibi eylem planı uygulamaları yapılabilir.

Kaynak-alıcı arasında gürültü kontrolü için; arazi ve bina kullanım planlaması, bariyer konumlanması gibi uygulamalar yapılabilir (Murph, 2014). Fiziksel müdahaleler ile hassas kullanım alanı çevresinde yeşil alan gibi sessiz bölgeler oluşturulabilir (WHO, 2018). İşletmeci kuruluş tarafından karayolu civarındaki kullanıcıların mevcut yollardan etkilenmemesi için; karayolu kenarlarına uygun gürültü perdeleme teknikleri dikkate alınarak uygulanabilir önlemler alınmalıdır (Demirkale & Aşcıgil, 2007).

Alicıda gürültü kontrolü için ise; bina çeperinde uygulanabilecek, sesin iç mekana ulaşmasını engelleyen yalıtım uygulamalarını yapılabilir. Cephe yalıtımı, yalıtımlı doğramaların kullanılması, açıklıkların kapatılması gibi yöntemler ile uygulanabilir. (Murph, 2014)

2.3.1.2. Demiryolu gürültüsü kontrolü

Demiryolu gürültü düzeyi; gelişen teknolojiye bağlı olarak sessizleştirilmelerine rağmen raylı sistem araçlarının gürültü düzeyi yaklaşık 80 dB(A) olarak belirlenmiştir (Erdoğan & Yazgan, 2007). Ancak örneğin diesel lokomotifli trenlerde 30 m.'de gürültü düzeyi 87-96 dB(A) arasındadır (Yılmaz & Özer, 1997).

75 dB üzeri gürültü uzun vadede duyma kaybı ve 90 dB üzeri gürültü işitme organında gibi sağlık problemlerine neden olmaktadır (Bkz. Tablo 2.1).

Dünya Sağlık Örgütü; demiryolu günlük ortalama gürültü seviyesinin 54 dB'in, gece ise uyku üzerindeki olumsuz etkileri nedeni ile 44 dB'in altında kalması gerektiğini önermektedir (WHO, 2018).

Tipik bir demiryolu gürültüsü düzeyi insan sağlığının korunması için önerilen sınır değerler ile yorumlandığında; gürültü kontrol gereksinimi görülmektedir. Sınır değerlerin sağlanması için uygulanabilecek kontrol yöntemleri aşağıda verilmiştir.

Kaynakta gürültü kontrolü için; ray tekerlek etkileşim gürültüsü kontrol altına alınmalı, tekerlek türü seçiminde sürtünme göz önünde bulundurulmalı, ekipmanların bakımı yapılmalıdır. Aynı zamanda banliyö ve şehirlerarası trenler ile ağır ve hafif metroların dış gürültü seviyeleri ile yolcu ve tren çalışanlarının kulak sağlığı ve konforu açısından iç gürültü ve vagon içi titreşim seviyelerine ilişkin düzenlemeler uygulanmalıdır (ÇGDYY, 04.06.2010). Tüm demiryolu gürültüsü bileşenleri gürültü tayininde bir arada değerlendirmelidir (Murph, 2014).

Kaynak-alıcı arasında gürültü kontrolü için; köprü yapıları üzerinde yapısal müdahaleler uygulanabilir. Bariyer uygulamaları ile sesin alıcıya ulaşması engellenebilir (Murph, 2014). Hava ve katı doğuşlu ses kaynağı olarak tanımlanan demir yolu hatları kentsel tasarımda gürültüye hassas kullanım alanları dışında planlanmalıdır.

Alıcıda gürültü kontrolü için ise; toplum gürültü müdahalesi ile ilgili bilgilendirilebilir ve yalıtım uygulamaları yapılabilir (WHO, 2018).

2.3.1.3. Havayolu gürültüsü kontrolü

Havayolu gürültü düzeyi; jetlerin iniş kalkışlarında, alana 150 m uzaklıktan hissedilen ortalama 120 dB(A) olarak saptanmıştır (Erdoğan & Yazgan, 2007). Almanya’da yapılan bir araştırmada ise askeri uçakların 115 dB(A)’lık bir gürültü çıkardığını tespit etmiştir (Yılmaz & Özer, 1997).

100 dB üzeri gürültü kan basıncı artışı, solunumda hızlanma, ani refleksler, baş ağrısı ve 120 dB üzeri gürültü işitme organlarında geçici olmayan hasar, denge bozukluğu, gürültü duyma kaybı, kulak ağrısı, beyin hasarları gibi gibi sağlık problemlerine neden olmaktadır (Bkz. Tablo 2.1).

Dünya Sağlık Örgütü; hava araçları tarafından üretilen günlük ortalama gürültü seviyesinin 45 dB’in, gece ise uyku üzerindeki olumsuz etkileri nedeni ile 40 dB’in altında kalması gerektiğini önermektedir (WHO, 2018).

Tipik bir havayolu gürültüsü düzeyi insan sağlığının korunması için önerilen sınır değerler ile yorumlandığında; gürültü kontrol gereksinimi görülmektedir. Sınır değerlerin sağlanması için uygulanabilecek kontrol yöntemleri aşağıda verilmiştir.

Kaynakta gürültü kontrolü için; hava aracının havayolu güvenliği ile uyumlu en düşük gürültü seviyesini yaymasını sağlanmalıdır. Uçak iniş-kalkış sayısında kısıtlama, gece uçuş yasağı getirme ve nüfuslu alanlardaki uçuş yollarını en aza indirme gibi havaalanı operasyonları üzerinde kontroller yapılabilir (Muralikrishna & Manickam, 2017).

Kaynak-alıcı arasında gürültü kontrolünde; mevcut havaalanları ve gelecekteki havaalanları bölgesi yakınındaki kentsel gelişim kontrol edilebilir (Muralikrishna & Manickam, 2017). Hava alanı çevresinin imara kapatılması çözüm sürecinde etkili olabilir.

Alıcıda gürültü kontrolü için; yalıtım uygulamaları ile alıcı korumaya alınabilir. Aynı zamanda hava yolu araçlarının havaalanlarında iniş ve kalkış yapabilmeleri için hava alanı araçlarının dış gürültü seviyeleri ile yolcu ve hava aracı çalışanlarının kulak sağlığı ve konforu açısından iç gürültü ile araç içi titreşim seviyelerine ilişkin düzenlemeler yapılmalıdır (ÇGDYY, 04.06.2010).

2.3.1.4. Suyolu gürültüsü kontrolü

Suyolu gürültü düzeyi; Çin'de gerçekleştirilen bir araştırmada, kaynaktan 25 m uzaklıkta alınan ölçümlere göre 54 taşıt/saat trafik hacmine sahip bir yolda, 7.78 km/sa hızla ilerleyen hafif gemi gürültü düzeyinin 85.2-89.2 dB(A) aralığında olduğu saptanmıştır. 43 taşıt/saat trafik hacmine sahip bir yolda, 5.81 km/sa hızla ilerleyen orta ağırlıklı gemi gürültü düzeyinin 93.2-97.1 dB(A), 32 taşıt/saat trafik hacmine sahip bir yolda, 8.78 km/sa hızla ilerleyen bir ağır gemi gürültü düzeyinin 96.3-99.8 dB(A) aralığında olduğu saptanmıştır. (Dai, 2014)

75 dB üzeri gürültü uzun vadede duyma kaybı ve 90 dB üzeri gürültü işitme organında gibi sağlık problemlerine neden olmaktadır (Bkz. Tablo 2.1).

Tipik bir suyolu gürültüsü düzeyinin insan sağlığı üzerindeki etki değerlendirildiğinde; gürültü kontrol gereksinimi görülmektedir. İnsan sağlığının korunması için uygulanabilecek kontrol yöntemleri aşağıda verilmiştir.

Kaynakta gürültü kontrolü ile; deniz, göl veya başka su yollarında kullanılan araçların dış gürültü seviyeleri ile yolcu ve suyolu aracı çalışanlarının kulak sağlığı ve konforu açısından iç gürültü ile araç içi titreşim seviyelerine ilişkin düzenlemeler yapılmalıdır (ÇGDYY, 04.06.2010).

2.3.2. Endüstriyel gürültü kontrolü

Endüstriyel gürültü düzeyi; kaynak türüne göre değişiklik göstermektedir. Örneğin; endüstriyel gürültü kaynaklarından 200 Hz'de çalışan bir torna tezgahı 100 dB(A), bir komprasör 15 m uzaklıkta 85 dB(A) gürültü üretmektedir (Yılmaz & Özer, 1997).

90 dB üzeri gürültü işitme organında tahribat ve 100 dB üzeri gürültü kan basıncı artışı, solunumda hızlanma, ani refleksler ve baş ağrısı gibi sağlık problemlerine neden olmaktadır (Bkz. Tablo 2.1).

Dünya Sağlık Örgütü; endüstriyel gürültü kaynaklarından 100 dB üzeri gürültü düzeyi ile rüzgar türbinleri tarafından üretilen günlük ortalama gürültü seviyesinin 45 dB'in altında kalması gerektiğini önermektedir (WHO, 2018).

Tipik bir endüstri gürültüsü düzeyi insan sağlığının korunması için önerilen değerler ile yorumlandığında; gürültü kontrol gereksinimi görülmektedir. Sınır değerlerin sağlanması için uygulanabilecek kontrol yöntemleri aşağıda verilmiştir.

Kaynakta gürültü kontrolü için; üretim ekipmanı üzerinde dahili ve harici ses kontrol uygulamaları yapılabilir, ekipman üzerinde susturucular kullanılabilir ve makine titreşimlerine karşın montaj destekleri ile çalışma düzlemi izole edilebilir (Muralikrishna & Manickam, 2017). Makinelerin bakımının yapılması sürtünme, dişli sesleri, darbe gürültüsü vb. kaynaklara karşılı etkili olacaktır. Ağır vasıta hareketleri kısıtlanabilir, malzeme yükleme-taşıma-işlenme gibi işlemler kontrol edilmelidir. Tesis sürecinde çalışma zaman dilimlerine ayrılmalıdır.

Kaynak-alıcı arasında gürültü kontrolü için; tesis içinde ve dışında bariyer uygulamaları ile sesin alıcıya ulaşması engellenebilir (Muralikrishna & Manickam, 2017). Endüstri tesisleri temel olarak kentsel tasarımda gürültüye hassas kullanım alanları dışında planlanmalıdır.

Alıcıda gürültü kontrolü için; çalışanların kulak koruyucuları ile çalışması ile kullanıcı kayıplardan korunabilir (Muralikrishna & Manickam, 2017).

2.3.3. Şantiye gürültüsü kontrolü

Şantiye gürültüsü düzeyi; kaynak türüne göre değişiklik göstermektedir. Örneğin; inşaat alanlarında 3 m'den yapılan ölçümlerde beton karıştırıcısı 110 dB(A), grayder 110 dB(A), traktör 100 dB(A), vinç 115 dB(A) ve tuğla press makinesinin ise 100 dB(A) gürültü çıkardığı belirtilmektedir (Yılmaz & Özer, 1997).

100 dB üzeri gürültü kan basıncı artışı, solunumda hızlanma, ani refleksler ve baş ağrısı gibi sağlık problemlerine neden olmaktadır (Bkz. Tablo 2.1).

Tipik bir şantiye gürültüsü düzeyinin insan sağlığı üzerindeki etki değerlendirildiğinde; gürültü kontrol gereksinimi görülmektedir. Yapı üretimi faaliyetleri neticesinde ortaya çıkan bu gürültü kaynağında uygulanabilecek yöntemler, endüstriyel üretim gürültüsü kontrolü ile benzerlik göstermektedir.

2.3.4. Ekipman gürültüsü kontrolü

Açık havada kullanılan ekipman gürültüsü düzeyi; kaynak türüne göre değişiklik göstermektedir. Örneğin; gazla çalışan yaprak üfleyicilerin gürültü düzeyi yaklaşık 110 dB olarak belirtilmiştir (Thompson & Sorvig, 2008).

100 dB üzeri gürültü kan basıncı artışı, solunumda hızlanma, ani refleksler ve baş ağrısı gibi sağlık problemlerine neden olmaktadır (Bkz. Tablo 2.1).

Tipik bir ekipman gürültüsü düzeyi insan sağlığının korunması için önerilen değerler ile yorumlandığında; gürültü kontrol gereksinimi görülmektedir. Sınır değerlerin sağlanması için uygulanabilecek kontrol yöntemleri aşağıda verilmiştir.

Kaynakta gürültü kontrolü için; gürültü sınırlarına tabi tutulan teçhizat, tarif ve ölçme yöntemleri ilgili ses güç seviyesi garanti edilen teçhizat, sınır değerlerinin müsaade edilen ses güç seviyelerini aşmaması ile gürültü kontrolü sağlanır (Yönetmelik, 30.12.2006).

Kaynak-alıcı arasında gürültü kontrolü için; gürültü kaynağının çevresine yalıtım ya da bariyer uygulamaları yapılması, açık havada bulunan kaynaktan gürültü yayılımını engelleyecektir.

2.3.5. Kentsel kullanım gürültüsü kontrolü

Kentsel kullanım gürültü kaynakları arasındaki ticaret gürültüsü düzeyinin; Erzurum'da seyyar satıcıların oluşturdukları pazar yerinde yapılan gürültü ölçümlerinde ortalama 67 dB(A) olduğu belirlenmiştir (Yılmaz & Özer, 1997).

65 dB üzeri gürültü kan dolaşımının bozulması, ruhsal ve sinirsel rahatsızlıklar gibi sağlık problemlerine neden olmaktadır (Bkz. Tablo 2.1).

Tipik bir kentsel kullanım gürültüsü düzeyi insan sağlığının korunması için önerilen değerler ile yorumlandığında; gürültü kontrol gereksinimi görülmektedir. Sınır değerlerin sağlanması için uygulanabilecek kontrol yöntemleri aşağıda verilmiştir.

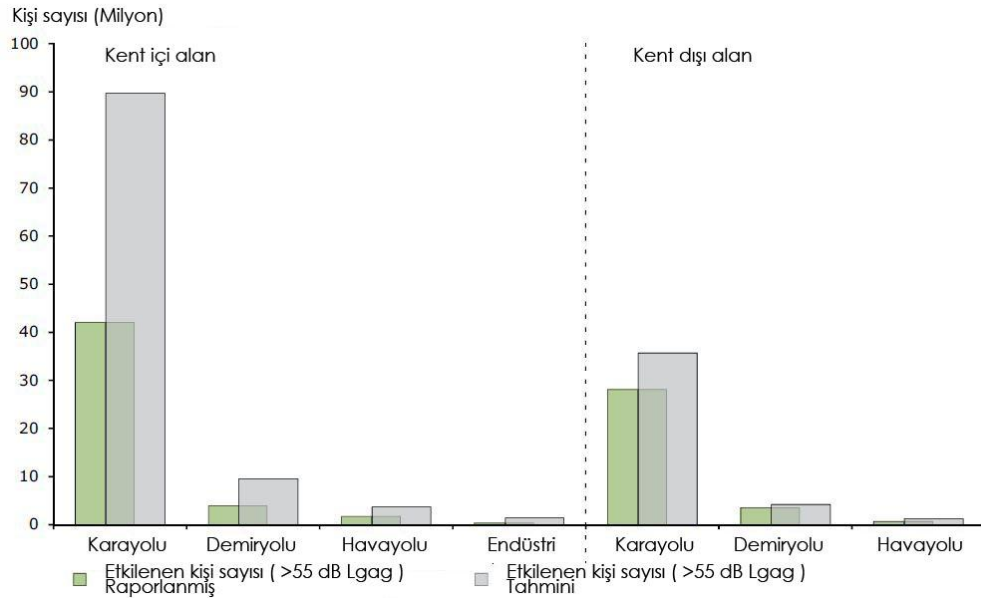
Kaynakta gürültü kontrolü için; kullanıcı davranışının kontrol altına alınması, yasal düzenlemeler ile getirilecek kısıtlamalardan faydalanılır.

Müzik yayını yapan eğlence yerleri ve rekreasyon alanlarından kaynaklanan çevresel gürültü seviyesi ve gürültünün önlenmesine ilişkin esaslar uygulanarak gürültüye karşı hassas olan mahaller işletme tarafından koruma altına alınmalıdır (ÇGDYY, 04.06.2010).

Çevresel gürültü kontrolünde uygulanacak yöntemin kaynak türüne göre özelleştiği görülmektedir. Tez kapsamında gürültü kontrolünün sağlanacağı kaynak türünün belirlenmesi ve kent genelinde etkili olacak alternatif bir çözüm önerisi getirilebilmesi için; kullanıcıya en yüksek oranda etki eden çevresel gürültü kaynak türüne ilişkin araştırmalar yapılmıştır.

Avrupa Çevre Ajansı tarafından hazırlanan raporlarda; Avrupa’da kaynak tipine bağlı olarak 55 dB’den daha yüksek gürültüye maruz kalan insan sayısının rapor edilen ve tahmin edilen verileri belirtilmiştir. 55 dB; Avrupa Birliği ülkelerinde gündüz, akşam ve gece ağırlıklı ortalamasını gösteren sınır değeridir. Kent içi alanlarda raporlanan ve tahmin edilen maruziyet sırasıyla; karayolu gürültüsü, demiryolu gürültüsü, havaalanı gürültüsü ve endüstriyel gürültü olarak belirtilmiştir. Kent dışı alanlarda yine ilk sıradaki karayolu gürültüsünün arkasından demiryolu ve havayolu gürültüleri maruziyet oluşturmaktadır (EAA, 2014), (EAA, 2018). 2014 yılında sunulmuş olan rapor kapsamındaki; Avrupa Birliği üye ülkelerinde kaynak tipine bağlı olarak gürültüye maruz kalan kişi sayısı Grafik 2.1 üzerinde gösterilmiştir (EAA, 2014).

Grafik 2.1. AB üye ülkelerinde kaynak tipine bağlı gürültü maruziyeti (EAA, 2014)

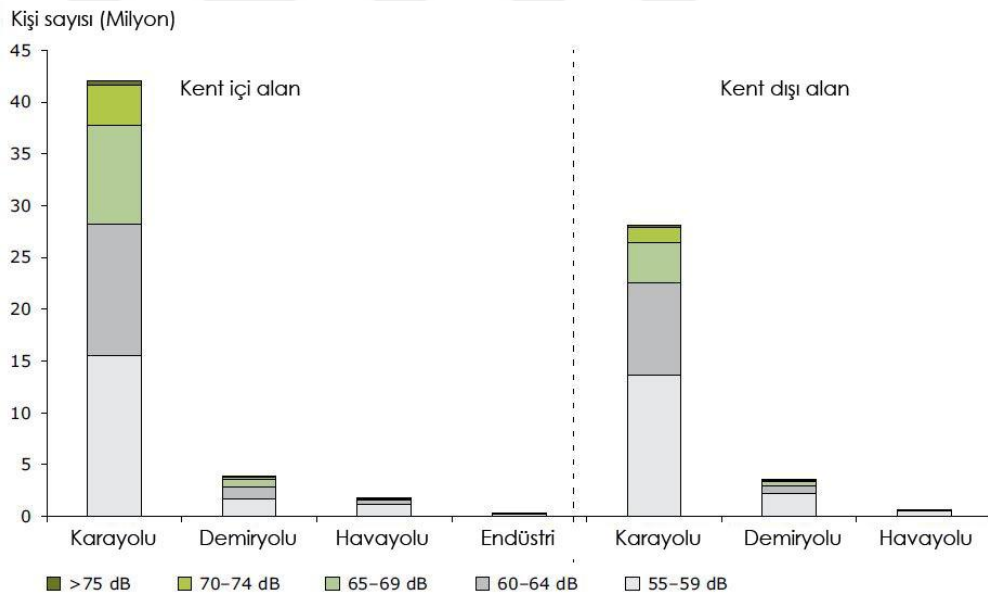


Ulaşım kaynakları arasında karayolu ağının yoğunluğunun diğer ulaşım kaynaklarına göre daha fazla olması nedeni ile karayolu kaynaklı gürültü kirliliğinin kentsel kullanımda birinci derece etken olduğu görülmektedir. Sanayi tesislerinin ise

yerleşim alanlarından uzak kurulması sebebi ile gürültü maruziyet oranının azaldığı söylenebilir. 2018 tarihli raporda 108 milyon, 2014 tarihli raporda 125 milyon insanın 55 dB üzeri karayolu gürültüsüne maruz kaldığı tahmin edilmektedir (EAA, 2014), (EAA, 2018).

2014 tarihinde desibel gruplarına göre gürültüden etkilenen kişi sayısı belirlenmiş olup; en yüksek maruziyet oranı ile karayolu gürültüsüne, kent içi kullanımda 55 dB'den yüksek gürültüye maruz kalan kişi sayısının 40 milyonun üzerinde olduğu raporlanmıştır (EAA, 2014). Kent içi ve kent dışı alanlarda 55-75 dB aralığındaki desibel grubu başına gürültüye maruz kalan kişi sayıları Grafik 2.2 üzerinde gösterilmiştir.

Grafik 2.2. Desibel grubu başına gürültüye maruz kalan kişi sayısı
(EAA, 2014)



Kent içi alanlarda raporlanan karayolu kaynaklı gürültünün; yaklaşık 15 milyondan fazla kişiyi, rahatsızlık seviyesi, öfke, kızgınlık belirtilerinin gözleneceği 55 dB ve üzeri gürültü düzeyine; yaklaşık 10 milyondan fazla kişiyi, kalp-kan dolaşımı, ruhsal-sinirsel rahatsızlıklar belirtilerinin gözleneceği 65 dB ve üzeri gürültü düzeyine ve yaklaşık 1 milyondan fazla kişiyi, uzun vadede duyma kaybı belirtilerinin gözleneceği 75 dB ve üzeri gürültü düzeyine maruz bıraktığı görülmektedir.

Çevresel gürültü maruziyet oranının, gürültü kaynağının kentsel mekana yayılımıyla ilgili olduğu görülmektedir. Kent oluşumunun temel yapısı olarak karayolu

ulaşım ağının kent içi alanlarda yüksek kullanım yoğunluğunun, kent kullanıcılarına doğrudan teması nedeni ile gürültü maruziyetinde ilk sırayı aldığı belirlenmiştir. Bu nedenle çalışma kapsamında en fazla sayıda kullanıcının en yüksek gürültü düzeyine maruz kaldığı, karayolu gürültüsü kontrolü için önlem nerileri detaylı olarak incelenmiştir.

2.4. Karayolu Ulaşım Gürültüsü Kontrol nlemleri

Karayolu gürültüsüne karşı uygulanabilecek önlemler; eğitsel önlemler, yasal önlemler, planlama önlemleri, teknik önlemler ve biyolojik önlemler olmak üzere 5 ana başlıkta sınıflanmaktadır (Yılmaz & zer, 1997). Önlem eşitleri; gürültü kontrolünde en etkili yöntemin belirlenebilmesi için uygulama önerilerini içermektedir.

2.4.1. Eğitsel nlemler

Eğitsel nlemler; kullanıcının eğitilmesi ile gürültüye karşı duyarlılık yaratarak, bireyi eylemlerinde bilinçli olmaya yöneltmektedir. Böylelikle kaynakta; bilinçli bireylerin toplum huzurunu gözeterek eylemlerini kontrol altına alması ve alıcıda gürültünün sebep olduğu sağlık sorunlarına karşı kişi kendini koruma yetisine sahip olması ile gürültü kontrolü sağlanmış olur.

Kullanıcıların evre dostu ulaşım araçlarına ve toplu taşıma araçlarına yönlendirilmesi, kamuoyunun bilinçlendirilmesi gibi eylem planı uygulamaları yapılabilir. Korna ve siren alınmasında kontrol sağlanmalıdır (Kurra, 2009). İvme kazandırılan ve sonucunda yüksek düzeyde motor ve lastik gürültüsü çıkarmasına neden olmaktadır. Trafikte hız sınırlamalarına uyulması, araç kullanımında uygun kalkış, duraksama ve vites değişimi gibi trafik kurallarının kullanıcılar tarafından uygulanması gerekmektedir. (Yılmaz & zer, 1997)

2.4.2. Yasal nlemler

Gürültü kontrolü sürecinde, gürültü düzeyinin risk tespitinin yapılabilmesi için bazı yasal düzenlemelerden faydalanılmaktadır. Gürültüyü azaltmanın en etkili ve uygun maliyetli yöntemi, izin verilen gürültü seviyelerini belirleyen mevzuatlarla kısıtlamalar getirilmesi ile kaynakta denetimin sağlanmasıdır. Yasal önlemlerle gürültü kontrolünde; mevzuat düzenlemeleri ile gürültü düzeylerine kısıtlamaların getirilmesi

ve sürücü davranışlarının yönetilmesi (Murph, 2014) ile kaynakta gürültü kontrolü sağlanmış olur.

20.yy 'ın ikinci yarısında dünyadaki çeşitli ülkeler çevresel gürültünün toplum sağlığı için dikkate alınması gereken bir tehdit olduğunu ve gürültü kontrolü uygulamalarının gerekliliğini anlamış; toplum sağlığının korunması için yasalar geliştirip, gürültü kaynaklarına bağlı sınırlamalar getirmişlerdir. Bu çalışmalar; yerel, ulusal ve uluslar arası gürültü yönetim politikalarının ortaya çıkmasını sağlamış ve kılavuzlar, mevzuatlar ve standartlar yürürlüğe konulmuştur. (Özçevik, 2012)

Dünya'da gürültü konusunda uygulanan mevzuatlar incelendiğinde; gürültünün çevre sağlığının korunması kapsamında yasalarda yer aldığı görülmektedir. Çevresel gürültü sınır değerleri değişebilir olduğundan kararname, yönetmelik, genelge gibi ek mevzuatlarla desteklenmektedir. Ülkelerde, kendi ulusal düzenlemeleri ile birlikte; Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO), Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) ve Avrupa Birliği Yönergeleri (END) de kabul görmektedir. (Kurra, 2009)

- WHO, gürültünün sağlık üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirgenmesi için gürültü yönetiminin bir devlet politikası haline gelmesi gerektiğini vurgulamış ve toplumsal gürültü yönetimi için uygulanabilecek; amacın belirlenmesi, yasa ve standartların oluşturulması, gürültü kontrolü şemalarının uygulanması kapsamındaki bir model önerileri üzerinde çalışmış ve çalışmakta olan bir kurumdur.
- ISO, çevresel gürültünün açıklanması, ölçülmesi ve değerlendirilmesi üzerine uluslar arası kabul edilirliliği olan temel bir standarttır.
- OECD, bünyesinde kurulan Gürültü Komitesi'nde gürültü kirliliği konularını ele almış olup; üye ülkelerden temin ettikleri ulusal raporlar ile gürültü probleminin gerçekliğini vurgulamışlardır.
- Avrupa Birliği Yönergeleri ile ilgili, ilk olarak yayınlanan “Yeşil Bildiri” kapsamında üye ülkeler tarafından gürültü kontrol politikalarının tanınmasını sağlamış olup; günümüzde Avrupa Komisyonu tarafından “Çevresel Gürültünün Yönetimi ve Değerlendirilmesi Direktifi (END)” uygulamaya konmuştur. Bu direktif ile çevresel gürültünün zararlı etkilerini azaltmak ve önlemek için ortak bir yaklaşım oluşturulması amaçlanmıştır;

eylem planına yönelik hedef sınır değerler belirlenerek gürültü kısıtlamaları getirilmiştir. (Kurra, 2009), (Özçevik, 2012)

Ülkemizde 1986 yılında çıkarılan “Gürültü Kontrol Yönetmeliği” ile ilk kez gürültü kaynaklarına karşı yasal sınırlamalar ve çevresel gürültü kaynakların değerlendirilmesine yönelik düzenlemeler getirilmiştir (Özçevik, 2012). Günümüzde yasal düzenlemelerin başında; Çevre Kanunu’na göre 4 Haziran 2010 tarih ve 27601 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetim Yönetmeliği” esasları uygulanmaktadır. Yönetmelik kapsamında; idarelerin görev, yetki ve sorumlulukları, kaynakların ses seviyeleri, gürültü kriterleri ve gürültünün önlenmesine yönelik sınır değerler, çevresel titreşim esas ve kriterleri, gürültüye hassas kullanımların bulunduğu alanlar için esas ve kriterler, planlama aşamaları, gürültü haritalama esas ve kriterleri, eylem planı hazırlanması, kamuoyu bilgilenme, veri toplama ve raporlama, çevresel gürültü değerlendirmesi, değerlendirme kriterleri ile şikâyetlerin değerlendirilmesi, denetimi ve idari yaptırımların uygulanması alanlarında kısıtlamalar getirilmiştir.

İzin verilen gürültü düzeylerine uygunluğun sağlanması için düzenli denetimler, testler ve kontroller gerçekleştirilmelidir. Karayolu gürültüsü denetiminde sorumlu kuruluşlar ve yükümlülükleri aşağıda verilmiştir. (ÇGEP, 2009-2020)

- Çevre ve Orman Bakanlığı
 - İşbirliği ve koordinasyonu sağlamak
 - Sorumlu kurum ve kuruluşlarca hazırlanmış gürültü haritaları ve eylem planları hakkında görüş bildirmek
 - Sorumlu kurum ve kuruluşlarca hazırlanmış ve Bakanlığa gönderilmiş gürültü haritaları ve eylem planlarını toplamak ve her türlü bilgi ve belgeleri içeren bir veri bankası oluşturmak
 - Gürültü haritalama ve eylem planlarının hazırlanması için uzmanlaşmayı sağlayıcı eğitim programları içeriğini ve uygulama prosedürünü belirlemek
 - Yönetmeliğin uygulanmasına yönelik her türlü açıklayıcı dokümanları hazırlamak
- Karayolları Genel Müdürlüğü
 - Belediye sınırları içindeki ve dışındaki ana kara yollarını belirlemek ve bunları Çevre ve Orman Bakanlığı’na iletmek

- Belediye sınırları ve mücavir alan içinde kendilerine ait karayollarının emisyon (kaynak) verilerini belediyeye iletmek
- Belediye sınırları ve mücavir alan dışındaki kendilerine ait ana karayollarının gürültü haritaları hazırlamak
- Kamuoyunu gürültü haritaları hakkında bilgilendirmek
- **Belediyeler**
 - Belediye sınırları ve mücavir alan içinde gürültü haritası hazırlanacak yerleşim yerlerini Çevre ve Orman Bakanlığı ile birlikte belirlemek
 - Belediye sınırları ve mücavir alan içinde gürültü haritaları için kaynak verileri dışındaki tüm verileri toplamak ve bunları gürültü haritalarının hazırlanmasından sorumlu kurum ve kuruluşların kullanımına açmak
 - Belediye sınırları ve mücavir alan içinde karayolları, tramvaylar, yerüstü metro hatları, endüstriyel tesisler ve/veya eğlence tesisleri, küçük fabrikalar ve benzeri gürültü kaynaklar ve limanlar nedeniyle oluşan gürültü durumunu gösteren gürültü haritalarını her bir kaynak için ayrı ayrı hazırlamak
 - Belediye sınırları ve mücavir alan içinde, yetkili ve sorumlu kurum ve kuruluşlarca hazırlanmış gürültü haritalarının sonuçlarını dikkate alarak, karayolları, demiryolları, tramvaylar, yerüstü metro hatları, havaalanları, limanları ve endüstriyel tesisler ve/veya eğlence tesisleri, küçük fabrikalar için hazırlanmış gürültü haritalarını dikkate alarak eylem planları hazırlamak
 - Belediye sınırları ve mücavir alan içinde hazırlanan eylem planları için kamuoyunun görüşünü almak
 - Eylem planları ve gürültü haritaları hakkında kamuoyunu bilgilendirmek
- **İl Özel İdareleri**
 - Belediye sınırları ve mücavir alan dışındaki alanlarda, gürültü haritalarının hazırlanması için kaynak verileri dışındaki gereken tüm verileri toplamak ve bunları gürültü haritalarının hazırlanmasından sorumlu kurum ve kuruluşların kullanımına açmak
 - Belediye sınırları ve mücavir alan dışındaki, ana karayolu, ana demiryolu ve ana havaalanı yakınında bulunan limanlar ve endüstri

alanlarının gürültü haritalarını hazırlamak ve tüm kaynakları içeren eylem planlarını yapmak

- Belediye sınırları ve mücavir alan dışındaki alanlar için hazırlanan eylem planlarını kamuoyuna danışmak ve görüşünü almak
- Belediye sınırları ve mücavir alan dışı için hazırlanan gürültü haritaları ve eylem planları hakkında kamuoyunu bilgilendirmek

2.4.3. Planlama önlemleri

Planlama önlemleri; tehdit oluşturabilecek gürültülerin öngörülen çözüm önerileriyle kontrol edilmesini kapsamaktadır. Kaynak-alıcı arasında uygulanabilecek kontrol önlemlerini içermektedir.

Trafik planlamaları ile kullanım yoğunluğu dengelenebilir ya da yönlendirici etkenler ile kullanıcı davranışları kontrol altına alınabilir.

Trafik akışını kontrol altında tutacak, toplu ve özel taşıma araç trafiği ve bisiklet-yaya trafiğinin koordinasyonu ile trafik akımlarının yönetilmesi ve kamyonların belirli yollarda yasaklanması veya izin verilmesi gürültü kontrolünde önlem teşkil edecektir (Muralikrishna & Manickam, 2017). Trafik yönetimi, yol tasarımı, hız kontrolleri, trafik akışının kontrolü, yol yüzey iyileştirmeleri gibi eylem planı uygulamaları yapılabilir. Hız sınırları azaltılabilir, trafik lambası düzenlemeleri ve kasis uygulamaları ile araç hızlarının kontrol altına alınmasıyla gürültü düzeyindeki hıza bağlı artış önlenmiş olur (Yılmaz & Özer, 1997). Çizgi kaynak olarak yayılım gösteren trafik gürültüsünün; kaldırım, araç yolu ya da kavşak gibi ulaşım hatları ile kesilerek şaşırtılması gürültü etkisini azaltacaktır (The Danish Road Institute, 2010). Trafik akış hızındaki değişiklik, araç kısıtlama stratejisi, gibi değişiklikler ile gürültünün yayılımı önlenabilir (WHO, 2018).

Kent planlamaları ile işlevsel dağılımın planlanmasıyla hassas kullanımlı alanlar güvenceye alınabilir ve ulaşım ağı düzenlemeleri ile gürültü oluşumu önlenir.

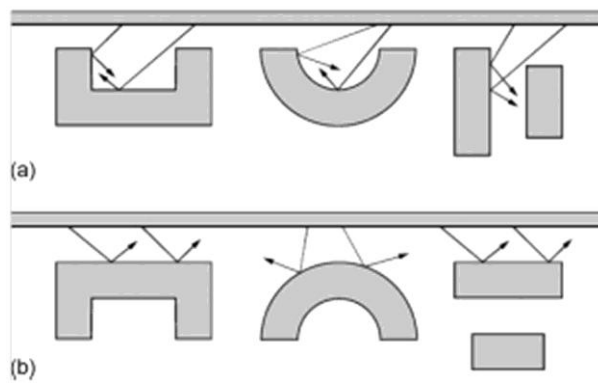
Arazi kullanım planlaması; bina, ulaşım ağı, yerleşim bölgesi, yeşil alan gibi işlevlerin gürültüye karşı kullanıcıyı korumaya alan tampon bölgeler bırakılması ile kent planının kurgulanmasına ilişkin uygulamaları içermektedir (Murph, 2014). Kent planlamasında işlevsel dağılımın doğru yapılması önemlidir; gürültüye karşı hassas alanların yoğun trafik alanları gibi işlevlerden ayrıştırılması, bu alanların korumaya alınmasında etkili olacaktır (Yılmaz & Özer, 1997). Kaldırım yapılanması ile karayolu

ve yaya kullanıcılar ayrıştırılmış olur (Muralikrishna & Manickam, 2017). Yol planlamaları ile gürültü seviyelerine göre araçların alternatif yollara yönlendirilmesiyle yoğunluk azalmış olur (Yılmaz & Özer, 1997). Fiziksel müdahaleler ile hassas kullanım alanı çevresinde tünel yapılanması, yeşil alan gibi sessiz bölgeler oluşturulabilir (WHO, 2018).

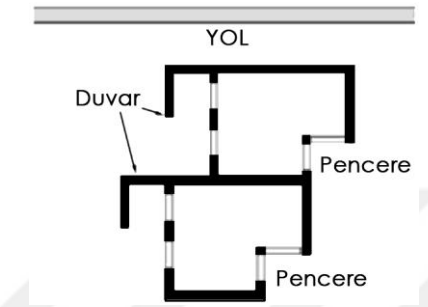
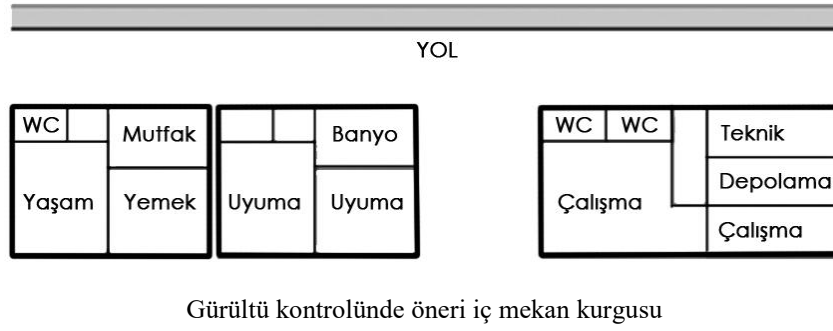
Mimari planlama ile gürültü kaynağı tespiti doğrultusunda arazi içinde bina yerleşimi, mekansal organizasyon kurgusu gibi önlemleri kapsamaktadır.

Bina tasarımı; mimari planlamada, bina formunun kaynak cephesinde ses ile yüzey alanının azaltılması, çoklu yansımaları önleyecek şekilde arazi üzerinde konumlanması ve gürültüye karşı hassas mahallerin ses kaynağının bulunduğu cepheden uzaklaştırılarak kurgulanmasını içermektedir. Kaynak ve alıcı arasındaki cephe tasarımı yapılabilecek duvar uygulamaları ile de sesin alıcıya ulaşmasını engelleyecek işlevde bir duvar oluşturulabilir. (Murph, 2014)

Bina yerleşiminin karayolu ile ilişkisi göz önüne alınarak çoklu yansımalar sebebiyet verecek içbükey ve yol hattına dik yerleşimlerden kaçınılmalıdır. Uyuma, çalışma, dinlenme alanı gibi gürültüye duyarlı mahaller yol hattına uzakta planlanmalıdır. Cephe tasarımında ses kırınımı sağlayarak iç mekanda duyulacak gürültü düzeyini azaltacak uygulamalara başvurulabilir (Muralikrishna & Manickam, 2017). Mimari planlama kapsamında; bina yerleşimi, iç mekan kurgusu ve cephe formu ile ilgili olarak öneri uygulamalar Şekil 2.1 üzerinde verilmiştir.



Gürültü kontrolünde öneri bina yerleşimi
(a) Çoklu yansımalar ile gürültü düzeyi artacaktır.
(b) Sesin alıcıdan uzaklaşması ile gürültü düzeyi azalacaktır.



Şekil 2.1. Karayolu gürültüsü kontrolünde mimari tasarım
(Muralikrishna & Manickam, 2017)

2.4.4. Teknik önlemler

Teknik önlemler; gürültü kaynağı üzerinde lokal, kaynak-alıcı arasında çevresel ya da gürültüden etkilenen alıcıda mekânsal olarak uygulanabilen, hesaplama ilkelerine dayalı gürültü kontrol yöntemleridir.

Kaynakta; araç sisteminde ya da yol niteliğinde yapılacak uygulamalarla gürültü kontrolü sağlanabilir. Tekerlek ile sürtünme kaynaklı gürültü oluşumuna neden olan yol yüzeyi yapısının; pürüzlülük, gözeneklilik ve elastiklik özellikleri gürültü düzeyini etkilemektedir (Muralikrishna & Manickam, 2017). Düşük gürültülü yol yüzeyi uygulamaları ve yol bakımları yapılabilir, düşük gürültülü araç lastiği ve araç motoru kullanılması sağlanabilir (Murph, 2014). Motorlu karayolu araçlarının teknik donanım, egzoz sistemi, sesli uyarı cihazları gibi dış gürültü seviyelerine ilişkin düzenlemeler yapılmalıdır (ÇGDYY, 04.06.2010).

Kaynak-alıcı arasında; sesin yansıma, yutulma, kırınma davranışlarını etkileyerek ya da yönlendirerek alıcıda ölçülen gürültü düzeyinin azalmasını sağlayan uygulamalarla gürültü kontrolü sağlanabilir. İşletmeciler tarafından karayolu civarındaki kullanıcıların gürültüden etkilenmemesi için; uygun gürültü perdeleme

teknikleri dikkate alınarak, etkin ve uygulanabilir önlemler alınmalıdır (Demirkale & Aşçıgil, 2007). Gürültü kaynağına olabildiğince yakın tesis edilmiş, yapısal, bitkisel ya da yapısal ve bitkisel elemanların kombinasyonları ile teşkil edilebilen bariyer uygulamalarla gürültü perdelemesi (Erdoğan & Yazgan, 2007) ya da gürültü yayılım ortamına elektronik cihazlarla üretilen yapay sesler ya da doğa sesleri gibi başka sesler eklenerek, gürültü maskeleymesi ile sağlanabilir (Thompson & Sorvig, 2008). Gürültü bariyeri uygulamalarında, uygulama alanına bağlı olarak; yapısal elemanlar, toprak setler ya da bitkilendirme yöntemleri ile teşkil edilebilecek doğal ya da yapay yükseltilerden faydalanılmaktadır (Murph, 2014). Gürültü bariyerlerinin, işletmeci kuruluş tarafından ihtiyaca yönelik uygulanması, bariyerleri gürültü kontrolünde etkili bir çözüm kılacaktır.

Alıcıda; binaların dış ve iç yüzeylerinin yalıtım maddeleriyle kaplanması, gürültüye yalıtımlı pencerelerin kullanılması gibi teknik önlemlerle gürültü kontrolü sağlanabilir. Bina çeperinde, sesin iç mekâna ulaşmasını engelleyen cephe yalıtımı, yalıtımlı doğramaların kullanılması, açıklıkların kapatılması gibi yöntemler ile uygulanabilir (Murph, 2014).

2.4.5. Biyolojik önlemler

Biyolojik önlemler, bitkisel materyal kullanımı ile gürültü düzeyinin azaltılmasını sağlamaya yönelik uygulamaları içerir.

Kaynak ve alıcı arasında; yeşil alan düzenlemeleri ile oluşturulan tampon bölgelerde teşkil edilecek bariyer işlevli düzenlemeler ile kaynaktan yayılan sesin alıcıya ulaşması önlenmiş olur (Muralikrishna & Manickam, 2017). Tampon bölgenin kötü yükseltildiğinde, yapılacak bitkilendirme ile gürültü düzeyi oldukça azalacaktır (Yılmaz & Özer, 1997). Kent içinde yapı yoğunluğunun yüksek olduğu kesimlerde amaca uygun bitkilendirme teknik olarak yapılmasa da refüj, yol ağaçlandırması ve kent parklarındaki bitkilendirmeler trafik gürültüsünün etkisini azaltmada etkili olmaktadır (Erdoğan & Yazgan, 2007).

Alıcı çeperinde; uygulanacak bitkilendirme yöntemleri ile bitkilerin ve bitki büyüme ortamının yutuculuk özelliklerinden faydalanılarak sesin yutulması ve çeperin ses yalıtımı sağlanabilir.

İnsanların geçmiş deneyimleri ve beklentileri mevcut bilgi algılarını etkilemektedir. Bitkilendirme gürültüyü azaltmada olduğu gibi psikolojik olarak kişiyi

gürültü kaynağından uzaklaştırmada da etkindir. Araştırmalar, kentsel bitki örtüsünün görsel ve akustik yönlerinin, kentsel ortamlardaki ses algısını ve değerlendirmesini değiştirmek için etkileşime girebileceğini göstermiştir. Bitkisel materyal, insanların çevrenin akustik kalitesiyle ilgili beklentilerini önemli ölçüde etkiler ve bu ortamlarda daha düşük düzeyde ses beklerler. Bitki örtüsü algılanan görsel kalitesi ve beklenen akustik kaliteyi iyileştirerek kentsel ortamın değerlendirilmesinde fark yaratır. (Anderson, Mulligan, & Goodman, 1984)

Kentsel yeşil alanların, görsel ve işitsel katkıları ile birlikte; sürdürülebilirliği sağlamada ve yaşam kalitesini yükseltmede stratejik olduğu belirtilmektedir (Priego & Canales, 2008).

Sürdürülebilirlik genel tanım itibari ile bir üretimi gelecek nesiller için hazır bulundurarak kaynak sürekliliğini sağlayabilmektir (Asdrubali F. , 2006). Sürdürülebilirlik kavramında; Dünya'da yaşamının kalıcı ve tahribatsız yolları incelenmektedir. İnsan yaşamı, yalnızca fiziksel ihtiyaçların karşılanmasında değil; enerji tüketimi, atık maddeler gibi konuların dışında, psikolojik olarak da sürdürülebilir olmalıdır (Thompson & Sorvig, 2008).

Yaşam kalitesi ile ilgili farklı tanımlamalar bulunmakta, yaşamın farklı alanlarını konu almakta ve bu alanların birleşimi ve etkileşimi sonucu ortaya çıkmaktadır. Yaşam kalitesi göstergeleri toplum ve birey bazında sınıflandırılmaktadır. Yeşil alanların yaşam kalitesindeki rolü; yeşil alanların işlevleri ve işlevlerinin sağladığı faydalar üzerinden açıklanabilir (Koramaz, 2010).

Kentsel yeşil alan işlevleri; çevresel, sosyal ve ekonomik etkileri bakımından sınıflanmaktadır (Priego & Canales, 2008).

- Çevresel etkiler; su tasarrufu, erozyonun önlenmesi, hava kalitesinin artırılması, gürültü kirliliğinin önlenmesi gibi ekolojik sistem,
- Sosyal etkiler; ekolojik farkındalık, topluluk kimliğinin belirlenmesi, vatandaş güvenliğinin etkisi, fiziksel ve zihinsel sağlık,
- Ekonomik etkiler ise; toplumsal yararlar ve mülk değerleri ile ilgili konuları içermektedir.

Yeşil alan işlevleri; sürdürülebilirlik ölçütü olarak ele alınabilir (Sandhu, 2017). Ekosistem işlevleri ve karşılığındaki yaşam kalitesi göstergeleri Tablo 2.4 üzerinde bir arada değerlendirilmiştir

Tablo 2.4. *Sürdürülebilirlik ölçütleri ile yaşam kalitesi göstergeleri*
(Sandhu, 2017)

Sürdürülebilirlik Ölçütü	Kentsel Ekosistem İşlevi	Yaşam Kalitesi Göstergesi
Ekoloji	Hava filtrasyonu İklim düzenlemesi Gürültü azaltma Yağmur suyu drenajı Su tedarik etmek Atık su arıtma Yemek üretimi	Sağlık (temiz hava, solunum hastalıklarına karşı koruma, sıcak ve soğuk ölümlerine karşı koruma) Güvenlik İçme suyu temini Gıda temini
Sosyal Çevre	Peyzaj düzenlemeleri Rekreasyon alanı sağlanması Kültürel değer kazancı Kimlik hissi	Estetik çevre Rekreasyon ve stres azaltma Entelektüel donatım İletişim olanakları Yaşam alanı sağlanması
Ekonomi	Ekonomik ve ticari faaliyetler ve konut için arsa sağlanması	Erişilebilirlik Gelir

Kent içi alanlarda, biyolojik önlem tasarımının etkinliğini vurgulamak üzere incelenen bu değerlendirme tablosu doğrultusunda; biyolojik önlem uygulanacak alanlarda bitkisel tasarımın sağlayacağı avantajların belirlenmesi amacı ile sürdürülebilir çevrenin yaşam kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Çevresel etkiler; bitkisel materyalin ekosisteme sağladığı faydalar ile ilgili konuları içermektedir. Kentsel yeşil alanların ekolojik sürdürülebilirliğinin sağlanması ile; beton yapıların ve sert zeminin mikroklima üzerinde yarattığı olumsuz etkiyi azaltılacak ve ısı-rüzgar kontrolünü sağlanacak, kentin drenaj sistemine katkıda bulunulacak ve hava kalitesinin iyileştirilmesinde fayda sağlanacaktır (Koramaz, 2010). Yeşil alanlar; doğal kaynakların sürdürülebilirliği ve biyolojik çeşitliliğin sağlanması ve korunmasında etkili olmaktadır (Dunnett, Swanwick, & Woolley, 2002). Bu şekilde sağlık sorunlarına karşı önlem alacak, doğal çevre güvenliği korunacak, yiyecek-içecek temini sağlanacak ve yaşam kalitesi yükselecektir.

Sosyal etkiler; yeşil alanların ortak kullanım alanı olarak işlev gördüğü süreçte ortaya çıkan kullanıcı profili üzerindeki etkileri kapsar. Herkesin kullanımına açık kamusal alanlar olan yeşil alanlar, bu özelliğin sunduğu kapsayıcılıkla, toplum genelinde sosyal bütünleşmenin geliştirilmesine, farklı kültürlerin ve sosyal gruplar arasındaki etkileşimin sağlanmasına, iletişim ağlarının güçlenmesine katkıda bulunarak sosyal alandaki faydaları gerçekleştirmektedir (Koramaz, 2010). Bu şekilde kazandırılan doğal çevre ve rekreasyon olanaklarının, fiziksel ve psikolojik sağlık alanındaki bütünleşik etkisi ile yaşam kalitesi yükselecektir.

Ekonomik etkiler; kentsel çevre kalitesini olumlu yönde etkileyen yeşil alanların, bulundukları kentsel çevrenin ekonomik değerini artırması ile ilişkilidir (Koramaz, 2010). Kentsel tasarımda yeşil alanlar, kentin gelişimini sınırlandırılabilir, bağlayabilir ya da yönlendirilebilir. Bu şekilde ticaret, konut gibi işlevli yapılar için arsa sağlanması ile kazandırılan yeni aktif kullanım alanına erişim ve ticari faaliyetler ile ekonomik kazancın sağlanması ile yaşam kalitesi yükselecektir.

Karayolu gürültüsü kontrolü için önlem önerilerinin alt başlıklarda detaylı olarak incelenmesi üzerine; en etkili çözümün uygulanabilmesi için, önlem içerikleri kapsamında gürültü kontrolünün uygulanma alanı belirlenmiştir. Karayolu gürültüsü, kent geneline etki eden bir yayılım gösterdiğinden; gürültü kontrolü uygulama alanı için kapsayıcı bir çözüm önerisi getirilmesi amaçlanmıştır.

Kaynakta denetim; eğitsel, yasal ve teknik önlem uygulamaları ile sağlanabilmektedir. Eğitsel önlemler kapsamında; kullanıcının bilinçlendirilmesi ile gürültüye karşı duyarlı yaklaşım sağlanacaktır. Yasal önlemler ile mevzuat düzenlemeleri ve denetimler kapsamında kullanıcı hareketleri kontrol altına alınmış olur. Teknik önlemler ile ise; gürültü kaynağı üzerinde yapılacak mühendislik çalışmalarıyla gürültü düzeyi azaltılabilir.

Kaynak- alıcı arasındaki denetim; planlama, teknik ve biyolojik önlem uygulamaları ile sağlanabilmektedir. Planlama önlemleri ile kaynak ve alıcı konum kurgusunda yapılacak düzenlemeler ile alıcının gürültüden korunması sağlanmaktadır. Teknik önlemler; hesaplama ilkeleri doğrultusunda uygulanacak gürültü kontrol yöntemlerini içermektedir. Biyolojik önlemler ile ise bitkilerin yutuculuk özelliklerinden faydalanılarak gürültü düzeyi azaltılmış ve psikolojik olarak gürültü algısı zayıflatılmış olur.

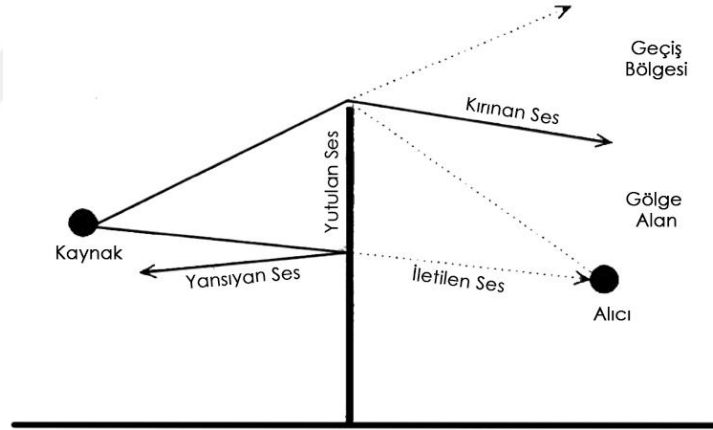
Alıcıda denetim ise; teknik ve biyolojik önlem uygulamalarına bağlı olarak sağlanabilir. Teknik ve biyolojik önlemler kapsamında alıcı çeperinde yalıtım uygulamaları ile alıcıda gürültü düzeyi azaltılabilir.

Kaynakta ve alıcıda gürültü kontrolünün sağlanması kullanıcı iradesine ve teknik yapılanmaya bağlı olduğundan, kişisel tercihler ile ilişkilidir ve her zaman mümkün olmamaktadır. Kent içi karayolu gürültüsünün mevcut ulaşım ağının kent üzerindeki yayılımı nedeniyle en fazla kullanıcıya temas ediyor olduğu dikkate alınarak; kapsayıcı bir çözüm önerisi sunulabilmesi ve gürültü kontrolünde önlem uygulanma alanının

genişletilebilmesi için, kaynak-alıcı arasında gürültü kontrolünün sağlanması gerekmektedir. Kaynak-alıcı arasında yapılabilecek uygulamalardan planlama önlemleri mevcut durumda uygulanabilecek özümleler içermediğinden; mevcut duruma çözüm önerisi getirilebilecek olan teknik ve biyolojik önlemler kapsamında çalışma geliştirilmiştir. Teknik önlemler kapsamında gürültü bariyerlerinin, işletmeci kuruluş tarafından mevcut ihtiyaca yönelik uygulanması ve geniş bir uygulama alanına sahip olması; bariyerleri gürültü kontrolünde avantajlı bir çözüm kılmaktadır. Biyolojik önlemler kapsamında ise bitkilerin sürdürülebilir evre üzerindeki etkileri dikkate alınarak gürültü kontrolünde bitkisel materyalden faydalanılması önerilmektedir. Bu kapsamda; gürültü bariyerleri uygulamaları ve beraberinde gürültü bariyerleri ile bitkisel tasarımın birlikte uygulandığı entegre tasarımlar incelenmiştir.

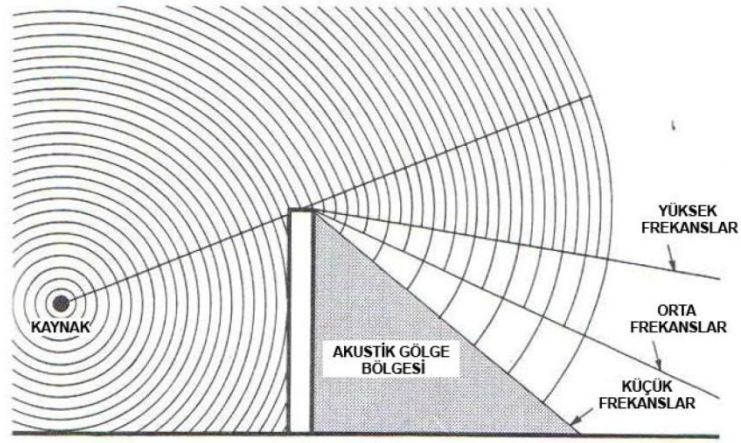
3. GÜRÜLTÜ KONTROLÜNDE BARIYER UYGULAMALARI

Hava içinde yayılan ses enerjisi, duvar, döşeme, kapı, perde, camlı bölme ve benzeri bir engele rastladığı zaman; bu enerjinin bir bölümü bu bariyerin yüzeyinde yansır, bir bölümü çeşitli şekillerde bariyerden geçer, bir bölümü de yine çeşitli şekillerde bariyer tarafından yutulur. Bu doğrultuda; sesin alıcıya ulaşmasını engelleyecek doğal ya da yapay yükselti ile gürültü kontrolü sağlanabilir. Sesin yansıyarak daha uzun yol almasını ya da sesin yutulmasına neden olarak gürültü düzeyinin azalmasını sağlayan elemanlara 'gürültü bariyeri' adı verilir (FHWA, 2000). Gürültü bariyerleri; kaynak-alıcı arasında konumlanarak sesin sesin yansıması, yutulması, geçmesi ve kırınması gibi davranışlarının kontrol altına alınmasıyla alıcı cephesinde ölçülen gürültü düzeyinin azalmasını sağlayan elemanlardır. Uygulama alanına bağlı olarak; yapısal elemanlar, toprak setler ya da bitkilendirme yöntemleri ile teşkil edilebilirler (Murph, 2014). Algılanan gürültü kaybolmazken, önemli ölçüde azalır (Klingner & diğerleri, 2003).



Şekil 3.1. Gürültü bariyeri çalışma prensibi
(FHWA, 2000)

Gürültü bariyerlerinin gürültüyü azaltıcı etkisi, temel olarak akustik bir “gölge” oluşumundan kaynaklanmaktadır. Akustik gölge alanı; ses dalgalarının bir çevrede yayılmaları sırasında engeller, rüzgâr etkisi ve günlük sıcaklık değişimleri gibi dış etkilere kırınma ve kırılmalar uğramaları sonucu ortaya çıkan ve içerisinde ses seviyelerinin 10 dB kadar azalma gösterdiği alanları ifade etmektedir (ÇGDYY, 04.06.2010). Bir gürültü kaynağı ile bir alıcı arasına bir gürültü bariyeri yerleştirilirse, bariyerin arkasında akustik bir gölge alanı oluşur ve alıcı gürültü seviyelerinde bir düşüş algılar.



Şekil 3.2. Bariyerlerle akustik gölge elde edilmesi

(Bozkurt, 2010)

Bariyer etkinliği; bariyer boyutlarına, yüzey özelliklerine ve ses geçişini engellemek için etkin kütle ağırlığına bağlı olarak belirlenmektedir (Muralikrishna & Manickam, 2017) ve gürültü azaltması; yola ve bölgeye ya da gürültüye karşı korunacak binalara göre yerleştirilmesi gibi birçok farklı faktöre bağlıdır. Bariyere yakın bölgelerde çeşitli seviyelerde gürültü azaltma elde etmenin normal olanakları şöyle sıralanabilir:

- 5 dB elde etmek nispeten kolaydır,
- 10 dB önemli boyutta bariyerler kullanılarak elde edilebilir,
- 15 dB elde etmek zordur,
- 20 dB pratikte normal olarak elde etmek imkânsızdır (Bendtsen, 2009).

Gürültü kontrolünde uygulanan yöntemler ile azaltılan gürültü düzeyinin insan algısındaki karşılığı Tablo 3.1 üzerinde belirtilmektedir. Örneğin; gürültü düzeyinde bir bariyer uygulaması ile elde edilmesi “nispeten kolay” olarak kabul edilmiş 5 dB gürültü azaltım değeri, gürültünün %34.02 oranında azalması olarak algılanmaktadır (Slim Wall), (Acoustical Surfaces). Tablo verilerini destekleyen bir biçimde; 5 dB zayıflama oranının, kaynak trafik gürültüsü hacminin üçte birine indirilmesine kabaca eşit olduğu belirtilmiş olup (Klingner & diğerleri, 2003), bu oran gürültü bariyerinin gürültü kontrolündeki etkinliğinin bir göstergesi olarak kabul edilebilir.

Tablo 3.1. *Gürültü düzeyindeki azalmanın algısal karşılığı*
(Slim Wall), (Acoustical Surfaces)

Gürültü Seviyesinde Azalma (dB)	Öznel Değerlendirme	Algılanan Ses Değişimi (%)
0	Azalma yok	
1	Hafif Azalma	
3	Orta Azalma	18.77%
5	Güçlü Azalma	34.02%
9	Kapsamlı Azalma	46.41%
12		56.47%
15		64.64%
30		87.50%
45		95.58%

Sesin kaynağı ile sese maruz kalan kullanıcıların arasında bulunan bariyerin sesi azaltması; sesin yansımaları, yutulması ya da kırınmasını etkileyen bazı parametrelere bağlıdır (Kurra, 2009).

- Akustik parametreler: Ses kaynağı tipi (noktasal, çizgisel, düzlemsel kaynak), ses gücü düzeyi, sesin frekansı (dalga boyu), sesin zamansal özellikleri,
- Fizyografik parametreler: Zemin türü (yansıtıcı/yutuculuk katsayısı, empedansı, akış direnci), meteorolojik faktörler (sıcaklık, rüzgar, türbülans vb.),
- Geometrik parametreler: Kaynak ve alıcı noktalarına uzaklık, engelin uzunluğu, yüksekliği, kalınlığı, engelin biçimi ve tepe profili, yapısal malzeme ve konstrüksiyonu, yüzey malzemesi (ses yansıtıcı/yutucu, ses yutuculuk katsayısı) ile ilgilidir.

Akustik, fizyografik ve geometrik parametrelere bağlı olarak uygulanan her türlü bariyer, gürültü düzeyini etkileyecektir.

3.1. Gürültü Bariyerlerinde Akustik Parametreler

Gürültü yayılım yoluna bariyer yerleştirmek, bariyerlerin boyutları ve gürültünün yüksek frekans mı yoksa düşük frekans mı olduğuna bağlı olarak, gürültü aktarımını azaltmanın etkili bir yolu olabilir (Muralikrishna & Manickam, 2017). Sesin frekansı ve düzeyinin, ses kaynağı tipine bağlı olarak değişiklik göstermesi nedeniyle bariyer tasarımının, kontrol sağlanacak gürültü kaynağı özelliklerine bağlı olarak şekillenmesi gerekmektedir. Bir sesin karakteri, sesin frekans dağılımına ve ses gücü düzeyinin zamanla değişimine bağlı olarak tanımlanabilmektedir. Zaman içerisinde ses kaynağı çeşitliliği ve beraberinde etkili frekans aralığı ile ses gücü düzeyi değişiklik göstermektedir. Sesin analizinin yapılmasında tüm parametrelerin zaman içerisinde gösterdiği değişim dikkate alınmalıdır.

Gürültü kontrolünün sağlanacağı kaynak özelliklerini belirleyen akustik parametreler aşağıda belirtilmiş olup; üzerinde çalışılan, kent içi karayolu gürültüsü kontrolü kapsamında incelenmiştir.

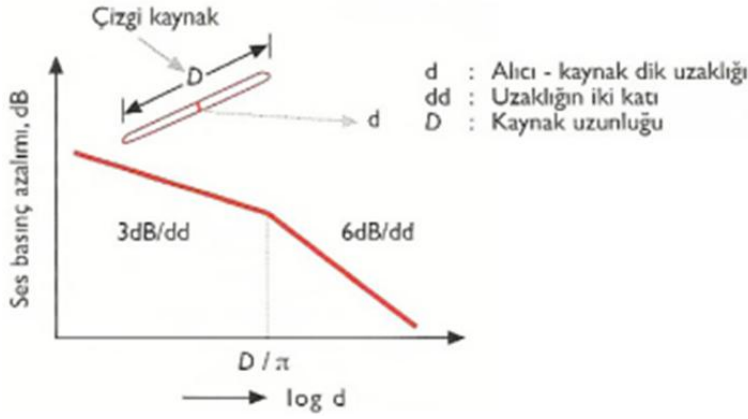
- Sesin Kaynak Tipi
- Ses Gücü Düzeyi (Azlık-Çokluk)
- Sesin Frekansı (İncelik-Kalınlık)

3.1.1. Sesin kaynak tipi

Kaynak tipi; gürültünün etkin olduğu frekans aralığını, düzeyini ve zamansal değişimini etkilemektedir.

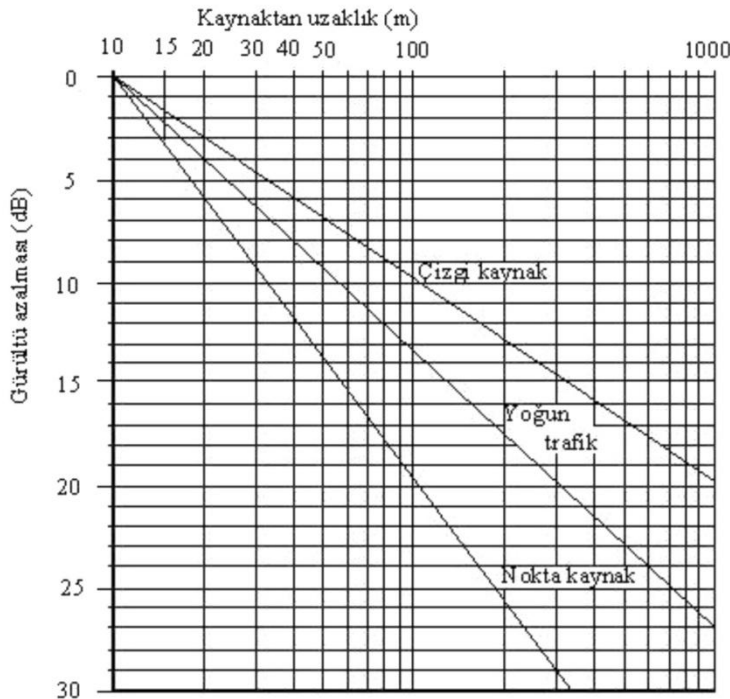
Kaynak ve alıcı arasındaki mesafenin arttırılması; sesin açık havada yayılma mekanizmasına bağlı olarak, kaynak türüne göre uzaklıkla azalma sağlar. Sürekli karayolu gürültüsü 'çizgisel kaynak' olarak ses yaymaktadır. Çizgisel kaynaklar, "birden fazla (sonsuz sayıda) eş düzeyli nokta kaynağın bir doğrultu üzerinde birbirine çok yakın bulunması ile oluşan" kaynaklardır ve silindirik dalgalar yaymaktadırlar. Çizgisel kaynaktan yayılan ses uzaklığın her iki katına çıkışıyla 3 dB azalmaktadır. Örneğin, çizgisel kaynak olan yayılım gösteren karayolu trafiğinden kaynaklanan gürültü 20 m uzakta 70 dB ise, sert bir yüzey üzerindeki mesafeyi 40 m' ye çıkarmak, gürültüyü 3 dB azaltacak ve 67 dB ölçülecektir (Dobson & Ryan, 2000). Çizgi kaynaktan yayılan gürültünün uzaklığa bağlı azaltımı Grafik 3.1 üzerinde gösterilmiştir.

Grafik 3.1. Çizgi kaynaktan yayılan gürültünün azalım grafiği
(Kurra, 2009)



Çizgisel kaynak olarak ses yayan karayolu gürültüsü; yoğun trafik anında akışın kesilmesi ile noktasal kaynak davranışına yaklaşır ve küresel ses dalgaları yaymaya başlar. Noktasal ya da çizgisel kaynaktan uzaklaştıkça, gürültü düzeyi azalma miktarları değişmektedir. Çizgisel kaynaktan 20 metre uzaklıkta gürültü düzeyi 3 dB azalırken, noktasal kaynaktan 6 dB azalma gözlenir. Yoğun trafik akışında bu değer 4 dB olduğu görülmektedir. Trafik akışına bağlı olarak karayolu gürültüsünün uzaklığa bağlı davranışı Grafik 3.2 üzerinde verilmektedir.

Grafik 3.2. Kaynak tipine bağlı olarak ses düzeyinde uzaklıkla oluşan azalma değeri
(Ders Notları, 2016)

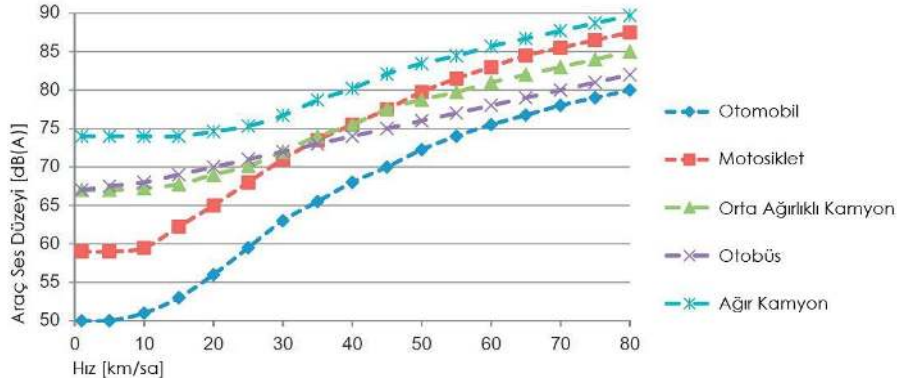


Trafik gürültüsü modellemesi, her bir noktasal kaynaktan yayılan ses seviyelerinin belirlenmesiyle başlar. Araç gürültüsü, hıza bağlı ses seviyesi olarak rapor edilir. Ses tahmini amaçlı araç kategorileri şu şekilde tanımlanmıştır (Long, 2014)

- Otomobil: Dokuz veya daha az sayıda yolcunun taşınması için tasarlanmış iki dingil ve dört tekerleğe sahip; brüt araç ağırlığı 4500 kilogramdan az tüm araçlar
- Hafif Araç: Kargo taşımacılığı için tasarlanmış iki dingil ve dört tekerleğe sahip; brüt araç ağırlığı 4500 kilogramdan az tüm araçlar
- Orta Ağırlıklı Araç: Kargo taşımacılığı için tasarlanmış iki dingil ve altı tekerleğe sahip; brüt araç ağırlığı 4500 kilogramın üzerinde, 12.000 kilogramın altında tüm araçlar
- Ağır Araç: Üç veya daha fazla aksa sahip ve kargo taşımacılığı için tasarlanmış; brüt araç ağırlığı 12.000 kilogramdan fazla tüm araçlar
- Otobüs: Dokuzdan fazla yolcu taşımak üzere tasarlanmış tüm araçlar (Murph, 2014)
- Motosiklet: İki veya üç lastik ve açık hava sürücüsü / yolcu bölmesi olan araçlar (Murph, 2014)

Grafik 3.3 üzerinde kaynak türüne bağlı; araç hızına göre değişen ses düzeyleri verilmiştir. Ölçülen ses basınç düzeyi mesafesi 15 m. olarak ele alınmıştır. Taşıt türlerinin gürültü düzeylerinin hıza bağlı değişimi incelendiğinde; yaklaşık 50 km/sa hızına kadar hız değişimine karşılık gelen gürültü düzeyinde büyük değişimler görülmemiştir. Kent içi alanlarda hız sınırlandırmasının 50 km/sa olduğu kabul edilerek; bu hızda tespit edilmiş olan 70 dB(A) ve üzeri gürültü düzeyinin (ÇGDYY, 04.06.2010)'de verilen 65 dB(A) sınır değerinin üzerinde olması nedeni ile kent içi karayolu gürültüsü kontrolünde gürültü bariyeri uygulamalarına ihtiyaç duyulmakta olduğu söylenebilir.

Grafik 3.3. Farklı araçlarda hıza bağlı tespit edilen gürültü düzeyleri
(Murph, 2014)



Gürültü kontrolünde etkili bariyer tasarımı için tüm kaynak bileşenlerinin karakterleri ve zamansal değişimleri incelenmeli; uygulama için frekans aralığı belirlenmelidir.

3.1.2. Ses gücü düzeyi

Gürültüyü tanımlayan ses basınç düzeyinin zaman içinde göstermiş olduğu değişim gürültünün değerlendirilmesinde önemli bir faktördür (Kurra, 2009). Trafik hacmi ve araç türüne bağlı olarak, ses basınç düzeylerinde gözlenen dalgalanmalar sesin zamanla değişimini dolayısıyla gürültü karakteristiğini etkilemektedir.

Tablo 3.2 üzerinde, araç türüne bağlı olarak trafik hacmindeki artış ile oluşan gürültünün değişim değerleri verilmektedir. Ortalama trafik akım hızı 80 km/sa %2 veya daha az eğime sahip 6 m genişliğinde çift şeritli yol genel kabulleri ile yapılan hesaplamalar sonucunda; (ÇGDYY, 04.06.2010)'de verilen 65 dB(A) sınır değerinin, 300 hafif taşıt ve 100'den az ağır taşıt ile aşıyor olduğu görülmektedir.

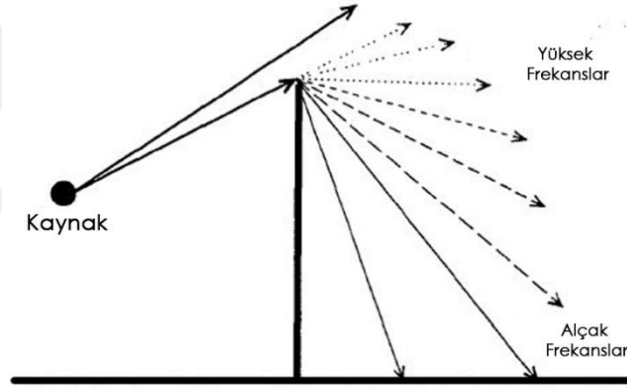
Tablo 3.2. Çeşitli trafik hacimleri için tespit edilen gürültü düzeyleri
(Çalış, 2007)

Taşıt Sayısı		100	200	300	400	500	1000	1500	2000	2500	3000
Leq dB(A)	Hafif Taşıt	60,9	63,9	65,7	66,9	67,9	70,9	72,6	73,9	74,9	75,7
	Ağır Taşıt	66,9	69,9	71,7	72,9	73,9	76,9	78,7	79,9	80,9	81,7

Karayolu gürültüsü analizinde; trafik hacmi, araç türü, etkili frekans aralığı ve gürültü düzeyinin zamansal değişimleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmalı ve ihtiyaç belirlenmelidir.

3.1.3. Sesin frekansı / dalga boyu

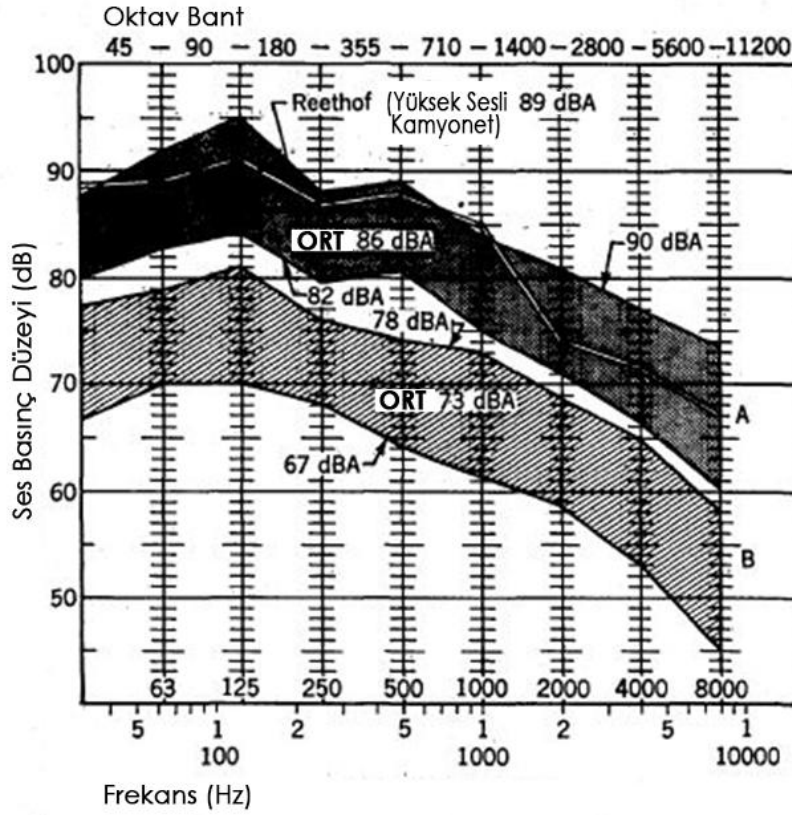
Gürültü bariyerinin kaynak ile alıcı arasına konumlandırılması doğrudan ilerleyen ses ışınının gücünü azaltsa da kırınma ya da bariyerden geçiş yoluyla ses alıcılara ulaşır. Sesin kırınması, gürültü bariyerinin tepe noktalarında gerçekleşir. Ses dalgalarının doğası gereği kırınma esnasında tüm ses frekansları düzgün şekilde bükülmez. Gürültü bariyerleri; bariyer boyutlarına ve gürültünün yüksek frekans mı yoksa düşük frekans mı olduğuna bağlı olarak, gürültü aktarımını azaltmanın etkili bir yoludur (Muralikrishna & Manickam, 2017) ve genellikle yüksek frekanslı sesleri azaltmada etkilidir (FHWA, 2000). Yüksek frekanslı (dalga boyu küçük) sesler daha az kırınırken, düşük frekanslı (dalga boyu büyük) sesler daha fazla kırınarak bariyerin arkasındaki gölge alanına ulaşır. (Yener, 2017) Gürültü bariyerlerinde frekansa bağlı olarak, ses ışınlarının kırınma hareketi Şekil 3.3 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Frekansa bağlı ses kırınması
(FHWA, 2000)

Aynı hızdaki farklı araçlar farklı frekanslarda farklı gürültü düzeylerine sahiptirler. Bu nedenle bariyer uygulamalarında trafik hacminde etkili olan araç türünün belirlenmesi ve dalga boyuna bağlı olarak bariyer yüksekliğinin hesaplanması önemlidir. Karayolu gürültüsünün tipik frekans aralığı 50-7000 Hz olarak verilmektedir, ancak bu aralığın yaklaşık %70'i yaklaşık 1000 Hz' te üretilir (Murph, 2014). Kaynak türüne bağlı olarak; 96 km/sa hızla giden kamyon ve otomobilin karayolundan 15 m uzaklıkta ölçülen gürültü düzeyleri Grafik 3.4 üzerinde verilmektedir. Grafik üzerinden okunduğu üzere; kaynakların ortalama düzeyi olarak, 1000 Hz frekansındaki değerleri verilmektedir.

Grafik 3.4. Farklı araçlarda frekansa bağlı tespit edilen gürültü düzeyleri (Reethof, 1973)

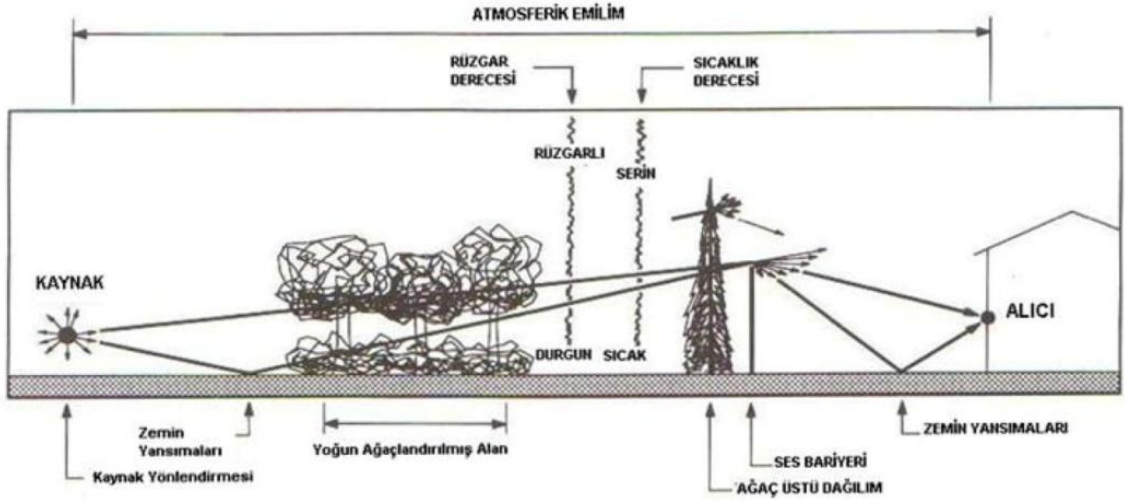


Karayolu gürültüsünün düşük frekanslı (dalga boyu yüksek) ses özelliğinde yayılması, gürültü bariyeri tasarımında etkili yüksekliğin sağlanması gerektiğini göstermektedir.

3.2. Gürültü Bariyerlerinde Fizyografik Parametreler

Dış mekânda kaynak ve alıcı arasındaki gürültü yayılımı; yol, uzaklık veya engeller gibi çeşitli zayıflama mekanizmaları ile bağlantılı olarak etkilenmektedir. Kaynak-alıcı uzaklığı arttıkça, büyük mesafelerde; hava kayıpları, zemin yutuculuğu, rüzgar yönü ve hızı gibi fiziksel çevre faktörleri etkili olurlar (Long, 2014). Fiziksel çevre faktörleri; sesin kaynaktan kullanıcıya, yapı veya etkilenen kişilere iletilmesi sırasında geçtiği fiziksel çevrede bulunan ve ses yayılımını etkileyen, gürültüyü artırıcı veya azaltıcı her türlü faktörü kapsamaktadır (ÇGDYY, 04.06.2010).

Gürültü kontrolünde başvurulacak gürültü bariyeri tasarımı ve planlaması; sesin açık havada yayılmasını etkileyen ortam şartlarına bağlı olarak değişiklik gösterecektir. Aşağıdaki şekilde sesin dış ortamda yayılma mekanizması ifade edilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Dış ortamda sesin yayılma mekanizması

(Bozkurt, 2010)

Fizyografik parametreler, (Kurra, 2009) kaynağında verilen etkenler kapsamında ele alınmış; sıcaklık, nem gibi faktörler *sesin yayılma hızını*, atmosfer koşulları ise *ses dalgalarının hareketini* etkilediğinden; meteorolojik faktörler (sıcaklık, rüzgar, türbülans vb.), *havanın moleküler yutuculuğu* ve *atmosfer koşulları* olmak üzere inceleme kapsamında ayrıştırılmıştır.

Sesin açık havadaki davranışını yönlendiren fizyografik parametreler aşağıda belirtilmiş olup; gürültü bariyeri performansına etkileri kapsamında incelenmiştir.

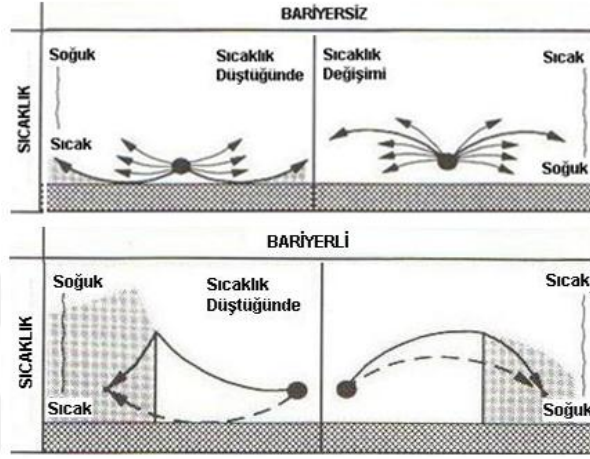
- Havanın Moleküler Yutuculuğu (Sıcaklık, Bağıl Nem Oranı, Kar, Sis)
- Atmosfer Koşulları (Rüzgar, Türbülans)
- Zemin Türü (Zemin Örtüsü, Bitki Örtüsü)

3.2.1. Moleküler yutuculuk

Havanın moleküler yutuculuğu sıcaklık, nem ve gürültü frekansı etkenlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Sıcaklığın yükselmesiyle molekül hareketi arttığından sesin yayılma hızı artar. Nem arttıkça ise havanın yutuculuğu artacağından kaydedilen gürültü düzeyinde azalma olur. Kar, havayı ağırlaştığından özellikle yüksek frekanslı sesleri daha çok yutar.

Zemin ve hava sıcaklık değişimine bağlı olarak bariyer uygulaması yapılmış ve yapılmamış alanlarda ses davranışı Şekil 3.5 üzerinde belirtilmektedir. Zeminin havadan daha sıcak olduğu durumda, ısınan havanın yükselmesi prensibine bağlı olarak sesin yukarı kıvrılıp akustik gölge alanı oluşturduğu görülmektedir. Bariyer uygulaması

akustik gölge alanını arttırmaktadır. Ancak bariyer tepesinden kırılan sesin sıcak hava yönünde hareket etmesi gürültü düzeyindeki azalma miktarını düşürebilir. Zeminin havadan daha soğuk olduğu durumda ise, sıcak yönünde hareket gösteren ses dalgasının aşağı kıvrılması sebebi ile akustik gölge alanı oluşturmadığı ve bu hareketin bariyer arkasındaki akustik gölge alanını küçülterek gürültü düzeyinde ek azalma sağlamadığı söylenebilir.



Şekil 3.5. Sıcaklık değişkeninin bariyer yapılanması ile etkileşimi
(Bozkurt, 2010)

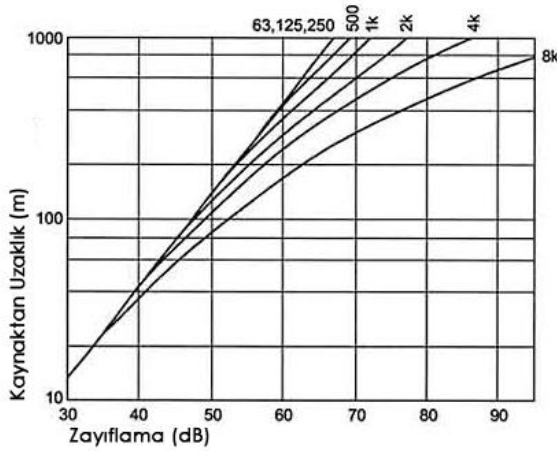
Havanın moleküler yutuculuğunu etkileyen sıcaklık ve nem değerlerine bağlı olarak, Tablo 3.3 üzerinde; kaynaktan 1000 m uzaklıkta, farklı sıcaklık ve nem değerlerinde oluşan farklı frekanslardaki ses düzeyi azalmaları dB cinsinden ifade edilmiştir. Aynı sıcaklık ve nem değerlerinde yutuculuk değerinin, özellikle yüksek frekanslar üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Sıcaklık, nem ve frekans özelliklerinin ilişkisine bağlı olarak yutuculuk değeri değişiklik göstermektedir. Örneğin; sıcaklığın artmasıyla sesin yayılma hızı arttığından ses düzeyindeki azalma miktarı düşer, ancak 500 Hz-1 kHz aralığında frekansa bağlı olarak artış görülmektedir. Aynı sıcaklık değerinde bağıl nem oranının artmasıyla ise ses düzeyindeki azalma miktarı düşer, ancak 500 Hz-1 kHz aralığında frekansa bağlı olarak kararsız bir dağılım gözlenmektedir.

Tablo 3.3. Havanın yutuculuğu nedeniyle 1000 m.'de oluşan ses düzeyi azalmaları
(Bies & Hansen, 2003)

Bağıl Nem %	Sıcaklık °C	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
25	15	0.2	0.6	1.3	2.4	5.7	19.3	66.9
	20	0.2	0.6	1.5	2.6	5.4	15.5	53.7
	25	0.2	0.6	1.6	3.1	5.6	13.5	43.6
	30	0.1	0.5	1.7	3.7	6.5	13.0	37.0
50	15	0.1	0.4	1.2	2.4	4.3	10.3	33.2
	20	0.1	0.4	1.2	2.8	5.0	10.0	28.1
	25	0.1	0.3	1.2	3.2	6.2	10.8	25.6
	30	0.1	0.3	1.1	3.4	7.4	12.8	25.4
75	15	0.1	0.3	1.0	2.4	4.5	8.7	23.7
	20	0.1	0.3	0.9	2.7	5.5	9.6	22.0
	25	0.1	0.2	0.9	2.8	6.5	11.5	22.4
	30	0.1	0.2	0.8	2.7	7.4	14.2	24.0

Bir nokta kaynaktan sesin yayılımının, sonsuz sert zemin düzlemi ve kısmen deney ve kısmen havadaki 16 ° C sıcaklıkta ve % 70 bağıl nem koşullarında hesaplanan teorik ses yutulmasına dayanarak incelenen atmosferik zayıflama etkilerinin dB cinsinden ifadesi Grafik 3.5 üzerinde gösterilmiştir. Kaynaktan uzaklaştıkça gürültü düzeyindeki azalma miktarı artar. Yutuculuk, özellikle yüksek frekanslar üzerinde etkilidir.

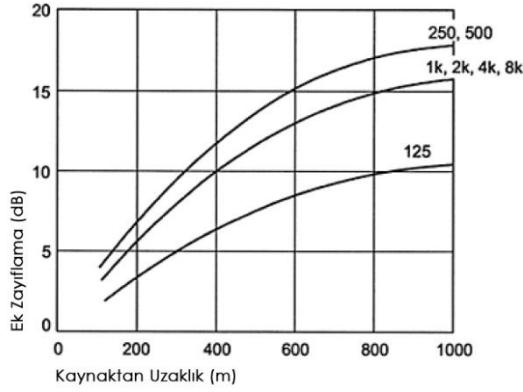
Grafik 3.5. Havanın yutuculuğu nedeniyle uzaklığa ve frekansa bağlı ses düzeyi azalmaları
(Bies & Hansen, 2003)



Aynı çalışma kapsamında verilen, bariyer etkisiyle elde edilen ek zayıflama miktarı ise Grafik 3.6 üzerinde verilmiştir. Bariyerlerin; 125 Hz değerinde düşük, 1 KHz ve üzeri frekans aralıklarında yüksek ve 250-500 Hz değerlerinde en yüksek performans gösterdiği görülmektedir. Bariyer etkisi ile Tablo 3.3 üzerinde ifade edilmiş

olan; 500 Hz ve 1 kHz değerlerindeki, sıcaklık ve nem oranına bağlı gürültü azalma ihtiyacı karşılanabilir.

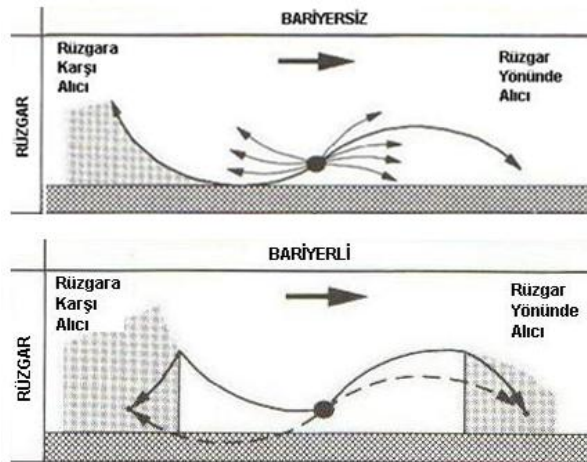
Grafik 3.6. Bariyer etkinliği nedeniyle uzaklığa ve frekansa bağlı ses düzeyi azalmaları



3.2.2. Atmosfer koşulları

Rüzgâr sesi taşıdığından, gürültü düzeyini alıcıda arttırabilir ya da alıcı konumunda akustik gölge alanı oluşturarak ses düzeyinde azalma sağlayabilir.

Rüzgâr hareketine bağlı olarak bariyer uygulaması yapılmış ve yapılmamış alanlarda ses davranışı Şekil 3.6 üzerinde belirtilmektedir. Rüzgarın bariyer yönünde hareketi durumunda gösteren ses dalgasının aşağı kıvrılması sebebi ile bu hareketin bariyer arkasındaki akustik gölge alanını küçülterek gürültü düzeyinde ek azalma sağlamadığı söylenebilir. Rüzgârın bariyer yönünün tersine hareket ettiği durumlarda ise sesin yukarı kıvrılıp akustik gölge alanını arttırdığı görülmektedir. Ancak bariyer tepesinden kırılan ses gürültü düzeyindeki ek azalma miktarını düşürebilir.



Şekil 3.6. Rüzgar değişkeninin bariyer yapılanması ile etkileşimi

(Bozkurt, 2010)

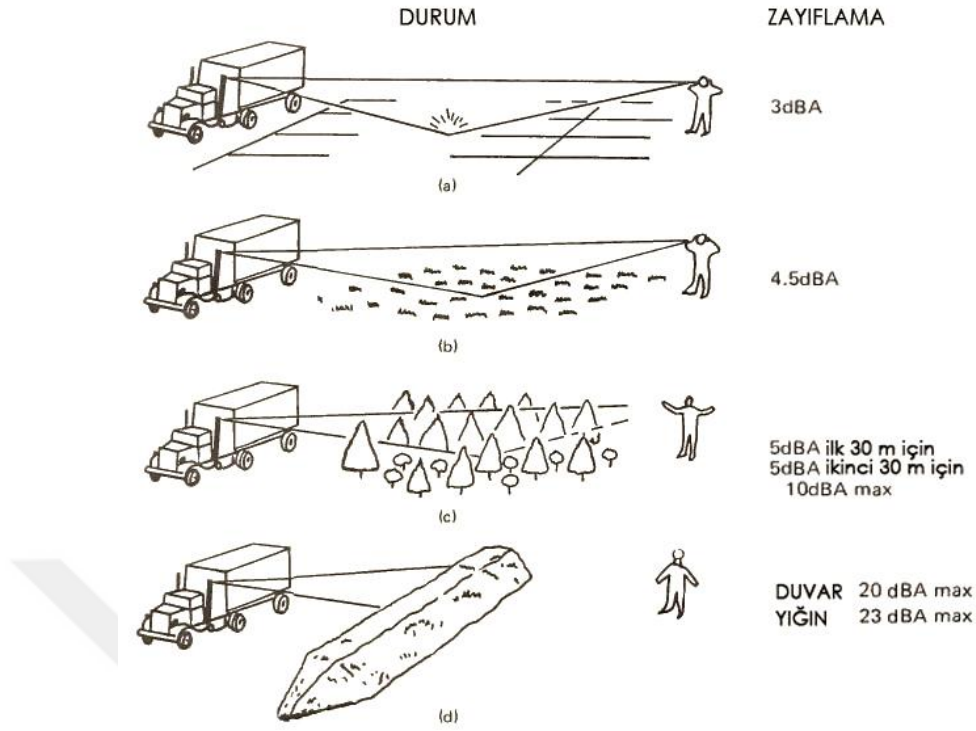
Rüzgâr türbülansı nedeniyle bariyerin arkasında ölçülen gürültü düzeyi teorik hesaplanan değerden daha yüksek olabilir ve bu durum gürültü bariyerinin beklenenden daha az etkili olmasına neden olmaktadır (Ekici & Bougdah, 2003). Bariyer hesaplamaları ve konum kararlarının alınmasında hakim rüzgar yönü faktörü dikkate alınmalıdır.

3.2.3. Zemin türü

Gürültü kaynağı ve alıcı arasındaki yüzey özelliklerine göre ses yüzeyden yansıyarak gürültü düzeyini arttırabilir ya da yüzeyde yutularak gürültü düzeyini azaltabilir. Zemin türünün gürültü kontrolündeki etkinliği; bir ses dalgasının yutucu bir yüzeyle etkileşime girmesi durumunda ses düzeyinin azalması ile elde edilir (Long, 2014). Bir gürültü bariyerinin kaynak cephesinden yansıyan ses ya da alıcı çeperine kırılan ses zemin ile temas ettiğinde, zeminin yutuculuk özelliği nedeniyle sönümlenir ve gürültü düzeyi azalmış olur.

Zemin türü, yutuculuk değerini etkiler. Bitki örtüsü ise zeminde yutuculuk sağlayarak ve kaynak-alıcı arasında bariyer teşkil ederek, gürültü düzeyinin azalmasını sağlamaktadır. Yumuşak bir orman zemini, ses enerjisini yutarak düşük frekanslı sesin yoğunluğunu ve yapraklar ile gövdeler yüksek frekanslı ses dalgalarını yansıtarak gürültü seviyelerini azaltmaya yardımcı olur (Anderson, Mulligan, & Goodman, 1984).

Kaynak-alıcı mesafesi sabit olmak üzere; yansıtıcı zemin, yutucu zemin ve bitki örtüsünün gürültü düzeyi azalmasına olan etkisi Şekil 3.7 üzerinde belirtilmiştir. Sert zeminde (a) uzaklığa bağlı olarak 3 dB azalma görülürken, yumuşak zemin (b) bu değerin 4.5 dB'e yükseldiği görülmektedir. Bitki örtüsü (c) etkisiyle her 30 m'de bir 5 dB ve maksimum 10 dB azalma elde edilebileceği belirtilmiştir. Zemin üzerindeki bariyer işlevli yükseltiler ve topografya yapısının etkisiyle ise 23 dB'e kadar gürültü azalması sağlanabilir.



Şekil 3.7. Zemin türüne bağlı ses düzeyi azalmaları
(Barry & Reagan, 1978)

Zemin türü, bir bariyerin performansının belirlenmesinde önemli bir rol oynar; sesin yutulması ya da tutarlı bir şekilde yayılıp yayılmayacağını düzenler. Bir gürültü bariyerinin varlığı, maksimum zemin etkisinin gerçekleştiği frekansı değiştirerek veya etkili yayılma yüksekliğini artırarak zemin etkisine müdahale edebilir. (Ekici & Bougdah, 2003)

3.3. Gürültü Bariyerlerinde Geometrik Parametreler

Gürültü bariyerleri uygulamalarında; çevresel verilerin yorumlanması, doğru yerleşimin yapılması, bariyerin işleve uygun tasarlanması ve detaylandırılması önemlidir. Karayolu gürültü bariyeri tasarımında trafik güvenliğinin sağlanabilmesi için; araç etkisine karşı mukavemetin sağlanması gerekmektedir. Bariyer tasarımında tasarım yükleri ortaya konmalı ve konstrüksiyon kararları alınmalıdır. Bariyer sistemi doğru detaylar ile çözümlenmelidir. (Klingner & diğerleri, 2003) Bariyer malzemelerinin bakım ve sürdürülebilirlik maliyetleri makul değerlerde olmalıdır (Shukla, 2011). Bir gürültü bariyerinin işlevini karşılayacak akustik verimliliği; planlama/yerleşim, biçim/boyut, konstrüksiyon/malzeme gibi tasarım kararları ile

ilişkilidir. Bariyerin gürültü azaltıcı etkisinin bağlı olduğu faktörlerle ilgili olarak, bariyer yapılanması ile ilgili çalışmış olan bazı kaynakların içerikleri aşağıda verilmiştir.

Kurra, bariyer performansına etki eden geometrik parametreleri; kaynak ve alıcı noktalarına uzaklık, engelin uzunluğu, yüksekliği, kalınlığı, engelin biçimi ve tepe profili, yapısal malzeme ve konstrüksiyonu, yüzey malzemesi (ses yansıtıcı/yutucu, ses yutuculuk katsayısı); Bendtsen, bir bariyerin gürültü azaltıcı etkisinin bağlı olduğu faktörleri; gürültü kaynağı ile bariyer arasındaki mesafe, bariyer ve alıcı arasındaki mesafe, bariyerin etkin yüksekliği, bariyerin uzunluğu, bariyerin kalınlığı, bariyer için kullanılan malzemeler olarak belirtmiştir. (Kurra, 2009), (Bendtsen, 2009)

Shukla; alan çalışması üzerinde gürültü verileri analiz edilerek tasarlanan gürültü bariyerinin geometrik yapılanma ile ilişkisi incelemiş ve çalışma alanı için ideal bariyer konumu ve yüksekliğini belirlemiştir. Bu kapsamda programa girilen geometrik parametreleri; kaynaktan bariyere uzaklık (m), bariyerden alıcıya uzaklık (m), karayolu üzerindeki kaynak yüksekliği (m), bariyer tarafından korunan sola açısı (radyan), bariyer tarafından korunan dik açı (radyan), yolun üstündeki bariyerin yüksekliği (m), yol yoluna göre alıcı yüksekliği (m) olarak belirtmiştir. (Shukla, 2011)

Garg ve diğerleri; gürültü bariyeri yapısal tasarım morfolojisini; ihtiyaç, bariyer türü, bariyer malzemesi ve bariyer tasarımı konu başlıklarında belirtmişlerdir. (Garg & diğerleri, 2012)

Geometrik parametreler, referans kaynaklarda verilen etkenler kapsamında incelenmiş; konum ilişkisi, yapı sistemleri kararları ve malzeme özellikleri ile ilgili olmak üzere ilgili içerikler 3 ana başlıkta gruplandırılmıştır.

Sesin açık havadaki davranışını kontrol eden geometrik parametreler aşağıda belirtilmiş olup; üzerinde çalışılan, kent içi karayolu gürültüsü kontrolü kapsamında incelenmiştir.

- Bariyer Konumu (Kaynak-alıcı-bariyer konumu)
- Bariyer Yapısı (Yükseklik, Uzunluk, Kalınlık, Form)
- Bariyer Malzemesi

3.3.1. Bariyer konumu

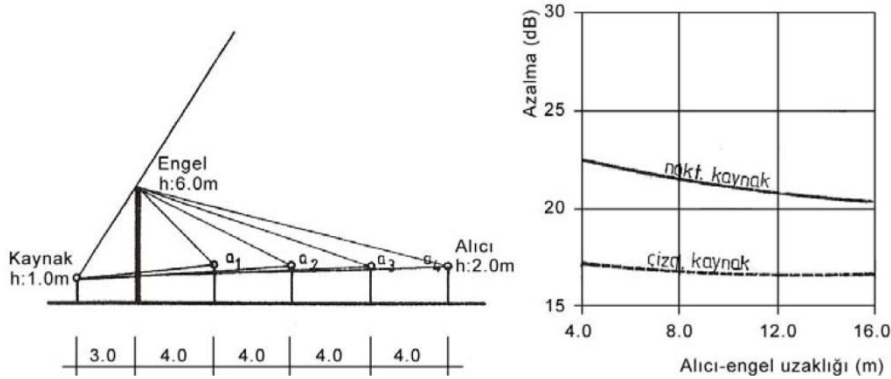
Gürültü bariyerleri tasarlanırken öncelikle çevresel gereksinim karşılanmalı; konum, arazi kullanım işlevi, genel kentsel bağlam, mahalli karakter, site alanı, tarihsel

ve kültürel durum gibi kentsel verilerin analiz edilmesi gerekmektedir (Farnham & Beimbom, 1990). Bariyer tasarımı, konumlandığı çevreyle uyumlu olmalıdır. Çevre ile ölçek, doku, renk uyumu sağlanmalı ve ışık-gölge alan kurgusu hesaplanmalıdır. (Klingner & diğerleri, 2003) Çevresel verilerin değerlendirilmesiyle bariyer hesaplamalarının doğru yapılması ve bariyer konumunun belirlenmesi önemlidir. Bir gürültü bariyerinin kaynağa ya da alıcıya olan uzaklığı gürültü düzeyindeki azalma miktarına etki etmektedir.

Kaynak-alıcı uzaklığının 16.0 m, bariyer yüksekliğinin 6.0 m, kaynak yüksekliğinin 1.0 m, alıcı yüksekliğinin 2.0 m olduğu durumda bariyerin kaynaktan alıcıya doğru kaydırılmasıyla 500 Hz frekanstaki gürültü kaybındaki azalma miktarı Grafik 3.7 üzerinde verilmiştir. Bariyerin kaynağa yakın olması durumunda gürültü düzeyindeki azalma miktarı artmaktadır.

Grafik 3.7. Bariyer konumunun kaynak-alıcı ilişkisi

(Candemir, 2008)

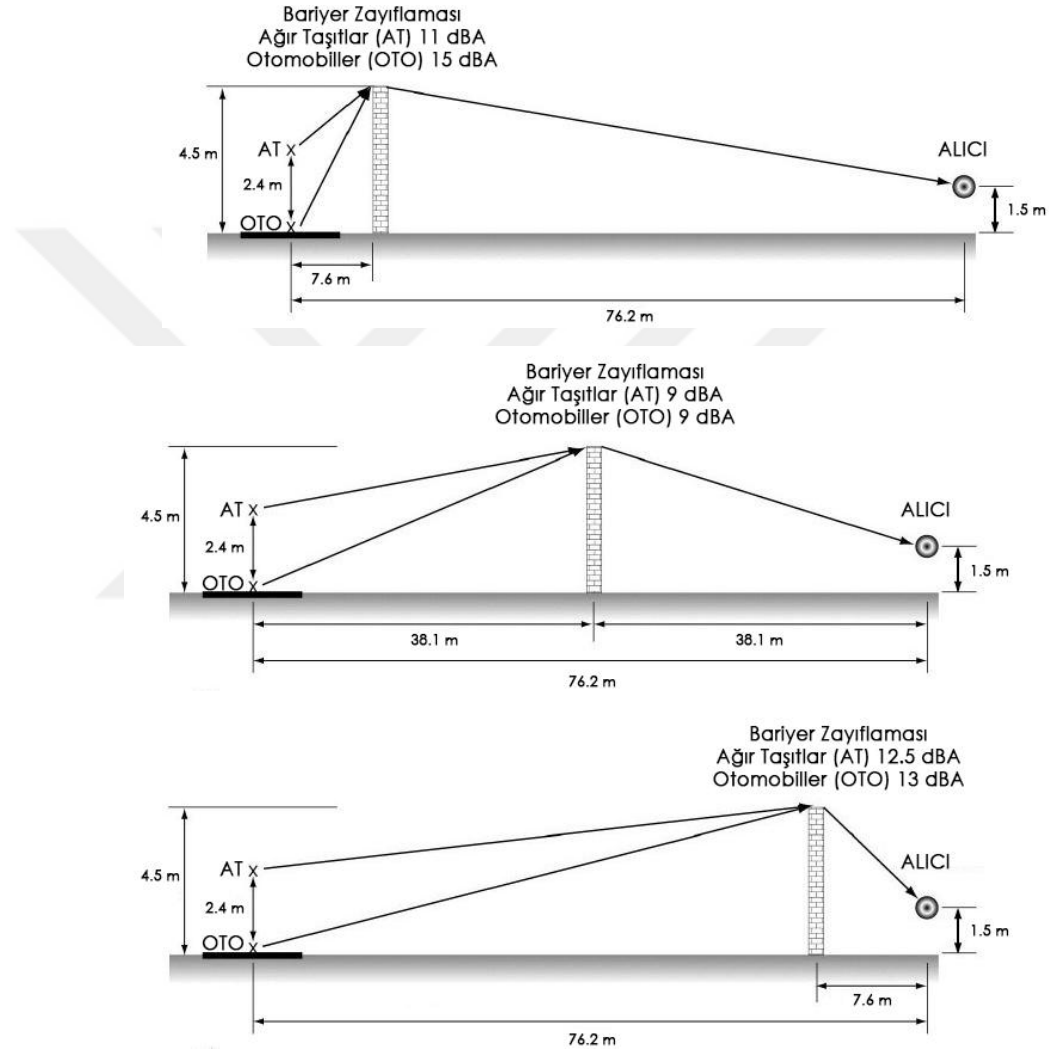


Bariyer konumunun gürültü düzeyindeki azalma miktarına olan etkisi; kaynak türü, kaynak-alıcı uzaklığı ve yüksekliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Bir bariyerden optimum performansı elde etmek için, bariyerin genellikle mümkün olduğu kadar kaynağa (yola) yakın yerleştirilmesi istenir. Bariyerin alıcının yakınına yerleştirmesiyle elde edilebilen etkili sonuç nadiren uygundur ve alıcının yola olan uzaklığının fazla olduğu durumlar için düşünülebilir. (Kotzen & English, 1999)

Kaynak-alıcı uzaklığının 76.2 m, bariyer yüksekliğinin 4.5 m, alıcı yüksekliğinin 1.5 m olduğu durumda; bariyerin kaynak ya da alıcıya yakınlık durumunda kaynak türüne bağlı gürültü düzeyi azalmaları Şekil 3.8 üzerinde verilmiştir. Kaynak-alıcı orta noktasındaki bariyer ile gürültü düzeyinin 9 dB(A) azaldığı, bariyerin kaynağa ya da

alıcıya yakın yerleştirilmesi durumunda azalma miktarında artış gözlemlendiği görülmektedir. Kaynak türüne bağlı olarak; bariyer yerleşiminin kaynağa yakın olduğu durumda otomobillerde 15 dB(A), kamyonlarda 11 dB(A), alıcıya yakın olduğu durumlarda ise otomobillerde 12.5 dB(A), kamyonlarda 13 dB(A) gürültü düzeyinde azalma rapor edilmiştir. (Hendriks & diğerleri, 2013)

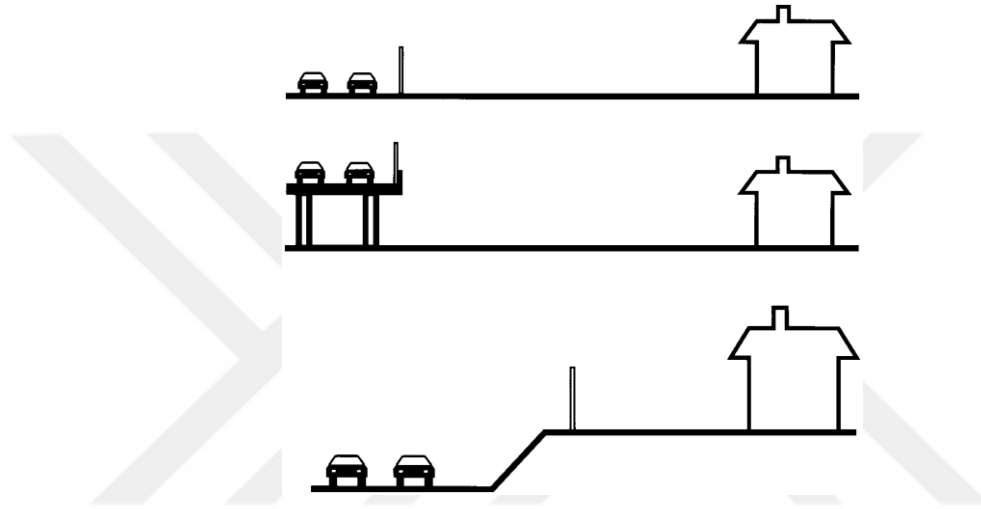


Şekil 3.8. Bariyer konumunun gürültü azalmasına etkisi
(Hendriks & diğerleri, 2013)

Otomobil gürültüsü, kamyon gürültüsüne oranla daha yüksek frekanslı (küçük dalga boyulu) olduğundan, bariyerin kaynağa yakınlık durumunda daha etkin sonuç verdiği; ancak daha düşük frekanslı kamyon gürültüsünün, bariyerin alıcıya yakınlık durumunda etkinliğinin arttığı görülmektedir. Alıcıya yakınlık durumunda daha iyi

sonuç veren bariyer yerleşimi sonucunun, verilen örnekteki kaynak-alıcı uzaklığının fazla olmasıyla ilişkili olduğu söylenebilir.

Bir bariyerin kaynağa veya alıcıya mümkün olduğunca yakın yerleştirilmesi gerektiği genel kabulü kaynak ve alıcının yükseltilmiş bir form ile ayrıldığı yerlerde geçerli değildir. Yolun yükseltildiği alanlarda bariyer kaynağa yakın konumlanmalı ancak yerleşim alanının yükseltildiği alanlarda bariyer yol kesitinin tepe noktasında konumlanmalıdır. (Kotzen & English, 1999) Bariyer konumunun arazi kesiti ile ilişkisi Şekil 3.9 üzerinde verilmiştir.



Şekil 3.9. Bariyer konumu ile arazi kesiti ilişkisi

(Kotzen & English, 1999)

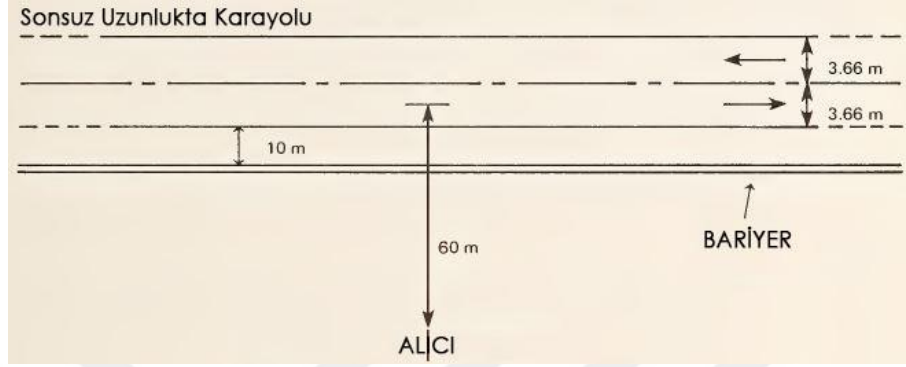
3.3.2. Bariyer yapısı

Gürültü bariyerlerinin işlevini karşılayacak akustik veriminin yeterli olması gerekmektedir. Sesin yayılımının önlenmesi için uygun bariyer boyutları belirlenmeli ve biçimsel düzenlemeler yapılmalıdır.

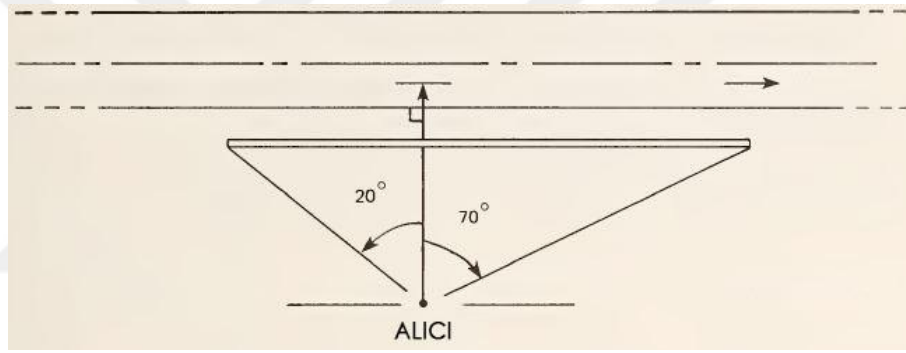
Bir bariyer etkinliği, bariyerin yükseklik, kalınlık, uzunluk, form gibi parametrelerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Etkin gürültü kontrolünün sağlanabilmesi için; bu etkenler göz önünde bulundurularak tasarımın uygulanması gerekmektedir.

Bir bariyerin gürültü kontrolünde etkin sonuç vermesi için öncelikle alıcının görüş hattını gizlemesi gerekir. Bu nedenle kaynak-alıcı ilişkisinin kesilmesi önemlidir. Barry & Reagan; örnek problem çözümlerine dayanarak bariyer etkinliğini formüllere dayalı olarak hesapladıkları çalışmalarında aynı şartlarda sonsuz ve belirli uzunluktaki iki bariyer türünün gürültü azaltma değerlerini karşılaştırmışlardır. Bariyer uygulaması

olmadan 65.1 dB(A) olan gürültü düzeyi; kaynak-alıcı ilişkisini tamamen engelleyen sonsuz bariyer uygulaması ile 55.7 dB(A), belirli uzunluktaki gürültü bariyeri ile ise 62.5 dB(A) olarak hesaplanmıştır. (Barry & Reagan, 1978) Bariyer uzunluğunun gürültü azalmasına etkisi Şekil 3.10 üzerinde verilmiştir.



Sonsuz gürültü bariyeri örneği



Belirli uzunlukta gürültü bariyeri örneği

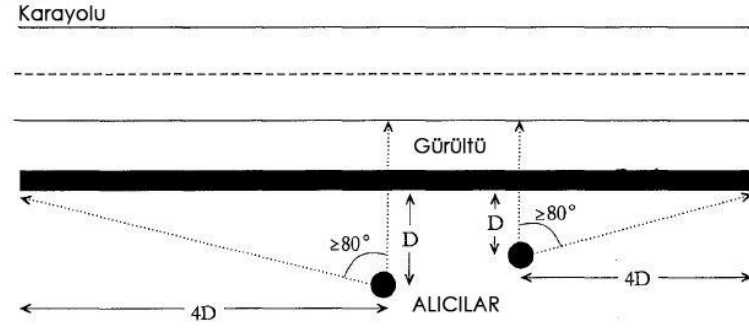
DURUM	SINIRSIZ BARIYER	SINIRLI BARIYER
$L_{eq}(h)$, Bariyer Öncesi	65.1 dBA	65.1 dBA
$L_{eq}(h)$, Bariyer Sonrası	55.7 dBA	62.5 dBA
Net Zayıflama (I.L.)	9.4 dBA	2.6 dBA

Sonsuz ve belirli uzunluktaki bariyerlerin gürültü azaltma değerleri

Şekil 3.10. Bariyer uzunluğunun gürültü azalmasına etkisi

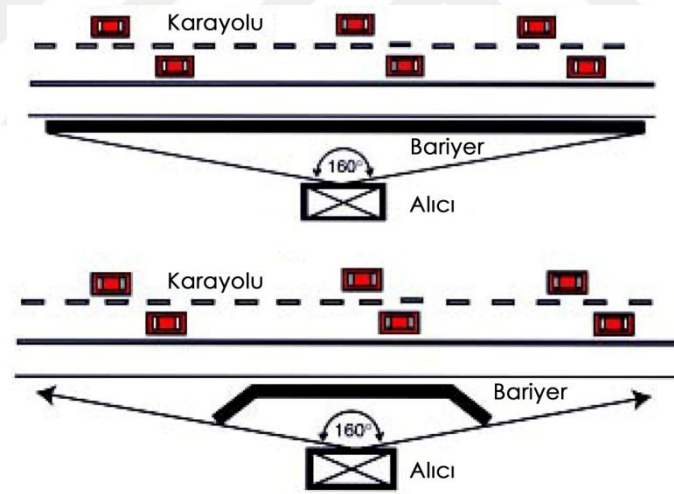
(Barry & Reagan, 1978)

Bariyer uzunluğunun belirlenmesinde genel kural; bir bariyerin, bir alıcı ile bariyer ucu arasındaki mesafenin, alıcı ile bariyer arasındaki mesafe ile alıcı ve yol arasında çizilen bir çizgi boyunca dik mesafenin en az dört katı olacağı şekilde yeterince uzun olması gerektiğidir (FHWA, 2000), (Garg & diğerleri, 2012). Bariyer uzunluğunun alıcı mesafesi ile ilişkisi Şekil 3.11 üzerinde verilmiştir.



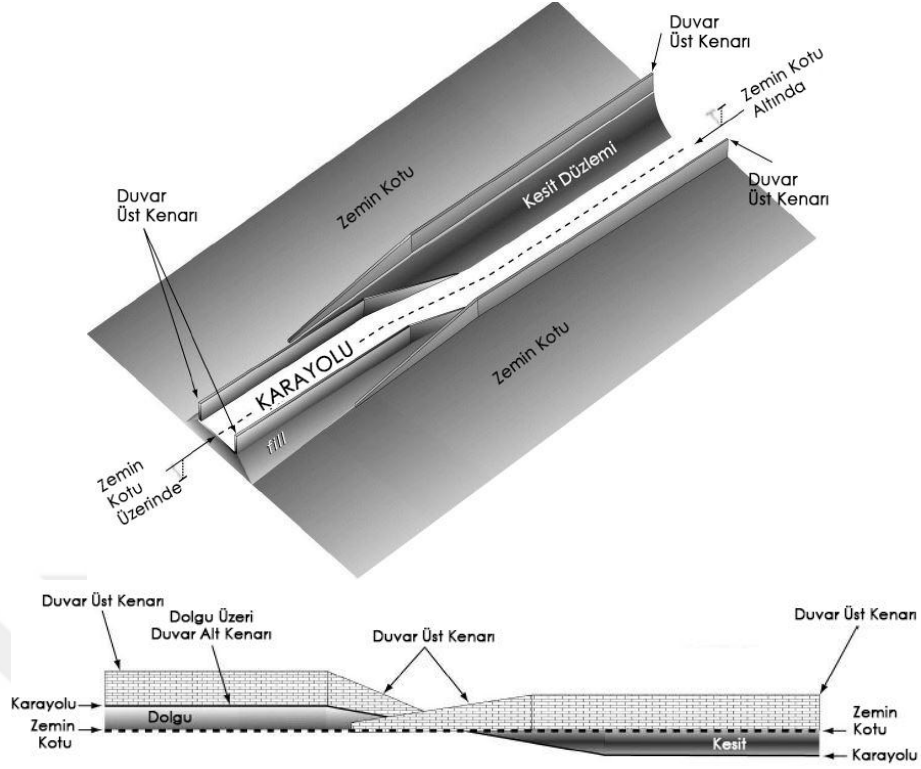
Şekil 3.11. Bariyer uzunluğunun belirlenmesi
(FHWA, 2000)

Bariyer uçlarında plan düzleminde yapılacak formal düzenlemeler ile bariyer uzunluğunun azaltılabileceği belirtilmiştir. Genel olarak alıcıdan yola uzanan 160° 'lik bir açıyı kapsayan bir bariyerin uçtaki kırınım ışınlarının anlamlı olmamasını sağlayacağı bulunmuştur (Kotzen & English, 1999). Bariyer uzunluğunun bariyer formu ile ilişkisi Şekil 3.12 üzerinde verilmiştir.



Şekil 3.12. Bariyer uzunluğunun bariyer formu ile düzenlenmesi
(Kotzen & English, 1999)

Bariyerin sonlandığı noktadan sesin gürültüye duyarlı bölgelere dağılmasını engellemek için, bariyer gürültüye duyarlı alan sınırından uzakta kademeli bir eğri ile sonlandırılmalıdır. Bu düzenleme çok geçişli yollarda yapılan gürültü bariyeri uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bariyer uzunluğunun sonlandırılması ile ilgili düzenleme önerisi Şekil 3.13 üzerinde belirtilmiştir.



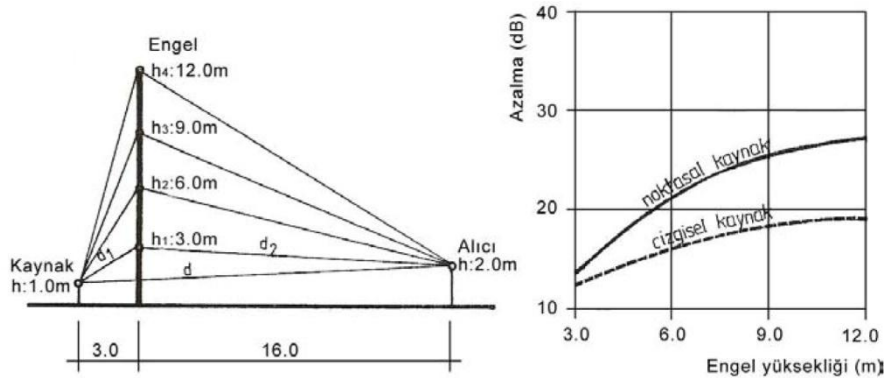
Şekil 3.13. Bariyer uzunluğunun sonlandırılması

(Hendriks & diğerleri, 2013)

Bariyer yüksekliği genellikle bir gürültü bariyerinin etkinliği üzerinde en doğrudan etkiye sahiptir. Noktasal ve çizgisel kaynak tiplerine bağlı olarak bariyer yüksekliğine göre gürültü azalma değeri değişimi Grafik 3.8 üzerinde gösterilmiştir. Bariyer yüksekliğinin artmasıyla, gürültü düzeyindeki azalma miktarı artar.

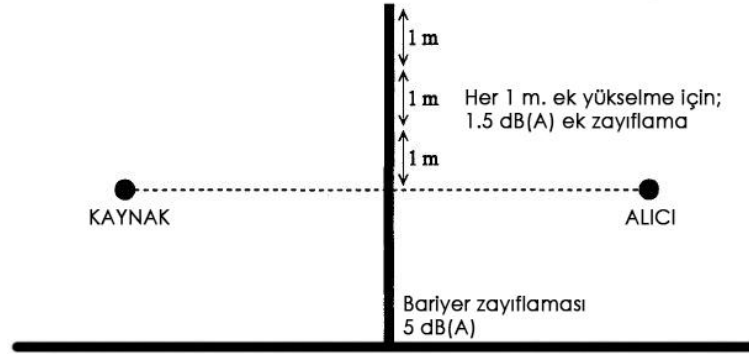
Grafik 3.8. Bariyer yüksekliğinin gürültü azalmasına etkisi

(Candemir, 2008)



Teorik olarak bariyer yüksekliğindeki her 1 metrelik artışın 1.5 dB(A) ek gürültü azaltması sağlayacağı belirtilmektedir (FHWA, 2000), (Garg & diğerleri, 2012).

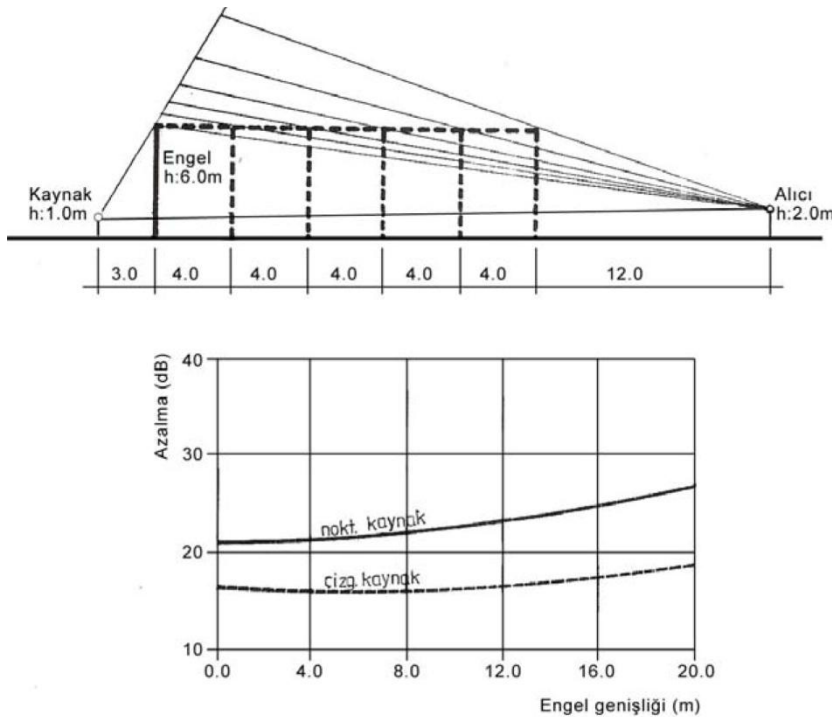
Bariyer yüksekliğindeki artışın gürültü azalmasına etkisi Şekil 3.14 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Bariyer yüksekliğindeki artışın gürültü azalmasına etkisi
(FHWA, 2000)

Bariyer kalınlığının artmasıyla engel etkinliğinde belirli bir artış elde edilmediği aşağıdaki grafikte belirtilmektedir. Önemli olan; yeterli gürültü kontrolü ve bariyer arkası gölge alanının niteliğinin bozulmaması için minimum 20kg/m^2 kütle ağırlığının sağlanmasıdır (Garg & diğerleri, 2012). Bariyer kalınlığının gürültü azalmasına etkisi Grafik 3.9 üzerinde gösterilmiştir.

Grafik 3.9. Bariyer kalınlığının gürültü azalmasına etkisi
(Candemir, 2008)



Gürültü bariyeri uygulaması için yeterli yükseklik, uzunluk ya da kalınlığın teşkil edilemeyeceği alanlarda, akustik verimliliğin artırılması için yenilikçi bariyer tasarımlarına yer verilmiştir. Yenilikçi gürültü bariyeri tasarımları; bariyer yüksekliğini ve uzunluğunu önemli ölçüde arttırmadan ve çok daha düşük bir maliyetle daha yüksek seviyede bir gürültü azalması elde etmek için ve mevcut bir gürültü bariyerini güçlendirmek için kullanılmış, ses dalgalarının kırınma açısının değiştirilmesinden faydalanılmıştır (Watson, 2006). Bu kapsamda, bariyer tasarımları ile ilgili çalışmış olan kaynaklar incelenmiş ve bariyer tasarımında yapısal uygulamalar ile ilgili içerikler derlenmiştir.

(Kotzen & English, 1999), gürültü bariyerlerinde yenilikçi çözümleri aşağıdaki başlıklarda incelemişlerdir.

- Konsol Bariyerler
- Tüneller
- Galerili Bariyerler
- Panjurlu Bariyerler
- Tepe Profilli Bariyerler
- T-Formlu Bariyerler
- Çok Kenarlı Bariyerler
- Y-Formlu Bariyerler
- Silindir Başlıklı Bariyerler
- Ters Faz Bariyerleri
- Değişken Tepe Profilleri
- Testere Dişli Bariyerler
- Pürüzlü Kenarlı Bariyerler

(FHWA, 2000), gürültü bariyerlerinde tasarım konularını aşağıdaki başlıklarda incelemişlerdir.

- Zig-zag Bariyerler
- Kesişen Bariyerler
- Tepe Profilleri
- T-Formlu Bariyerler
- Yay Profilli Bariyerler
- Y-Formlu Bariyerler
- Silindir Başlıklı Bariyerler

- Çit Bariyerler

(Samuels, 2001), karayolu trafik gürültüsü kontrolü için uygulanan yol kenarındaki bariyerlerin tasarımı ve performansındaki gelişmeleri ele aldığı çalışmasında gürültü bariyerlerinde tepe profillerini aşağıdaki başlıklarda incelemişlerdir.

- Çeşitli Tepe Profilleri
- Çok Kenarlı Bariyerler
- T-Formlu Bariyerler
- Yutucu Tepe Profilli Bariyerler
- Boyuna Tepe Profilli Bariyerler
- Çit Bariyerler
- Düzensiz Kenarlı Bariyerler
- Tepe Profilleri ile Aktif Gürültü Kontrolü
- Reaktif Bariyerler

(Ekici & Bougdah, 2003), gerçekleştirdikleri fiziksel prensipler üzerine güncel bariyer uygulamalarını ele aldığı çalışmalarında gürültü bariyeri türlerini aşağıdaki başlıklarda incelemişlerdir.

- Yol Uygulamaları
- Dikey Yansıtıcı Bariyerler
- Toprak Dolgulu Bariyerler
- Çok Kenarlı Bariyerler
- T-Formlu Bariyerler
- Dirsekli Bariyerler
- Yay Profilli Bariyerler
- Y-Formlu Bariyerler
- Ek Profilli Bariyerler
- U-Profilli Bariyerler
- Ağaç Tipi Bariyerler
- Çoklu Bariyerler
- Düzensiz Kenarlı Bariyerler
- Yutucu Bariyerler
- Yutucu Yüzeyli Bariyerler
- Yutucu Tepe Profilli Bariyerler

- Kapama Tip Bariyerler
- Bio-Bariyerler ve Bitkilendirme
- Eğik Düzlem Bariyerler
- Müdahil Tip Bariyerler
- Ters Faz Bariyerleri
- Çit Bariyerler
- Reaktif Bariyerler
- Helyum Dolgulu Bariyerler
- Dağıtıcı Bariyerler

(Watts & Morgan, 2005) bariyer türleri, lokal çözümler ve gürültü bariyerlerinde kullanılan malzemeler üzerine yaptıkları çalışmada gürültü bariyeri türlerini aşağıdaki başlıklarda incelemişlerdir.

- Yansıtıcı Bariyerler
- Toprak Dolgulu ve Bitkisel Bariyerler
- Yutucu Bariyerler
- Merkezi Bariyerler
- Çok Kenarlı Bariyerler
- Dirsekli Bariyerler
- T-Formlu Bariyerler
- Silindir Başlıklı Bariyerler
- Müdahil Tip Bariyerler
- Reaktif Bariyerler
- Fotovoltaik Bariyerler
- Kapama Tip Bariyerler

(Watson, 2006), yenilikçi gürültü bariyerleri üzerine hazırladıkları araştırma raporlarında bariyer türleri ve malzemelerini aşağıdaki başlıklarda incelemişlerdir.

- Dikey Gürültü Bariyerleri
- Silindir Başlıklı Bariyerler
- T-Formlu Bariyerler
- Dişli Tepe Profilli Bariyerler
- Çeşitli Tepe Profilleri
- Çok Kenarlı Bariyerler
- Mantar Başlıklı Bariyerler

- Eğik Düzlem Bariyerler
- Yutucu Bariyerler
- Şeffaf Bariyerler
- Diğer Bariyer Malzemeleri

Referans kaynak içeriklerinde bariyer tasarımı yapısal uygulamaların gruplandırmalarına ilişkin farklılıklar bulunmaktadır.

- Kaynak içeriklerinin, yapım sistemi ve malzeme seçimi ile ilişkili özellikleri bağlantılı olarak işledikleri görülmektedir. Malzeme özellikleri ile ilgili olan; bitkisel bariyerler (Kotzen & English, 1999), dikey yansıtıcı bariyerler, yutucu yüzeyli bariyerler, toprak dolgulu bariyerler, bio-bariyerler ve bitkilendirme (Ekici & Bougdah, 2003), toprak dolgulu ve bitkisel bariyerler, yansıtıcı bariyerler, yutucu bariyer, yutucu bariyerler (Watts & Morgan, 2005), yutucu bariyerler, şeffaf bariyerler, diğer bariyer malzemeleri (Watson, 2006) başlıkları malzeme seçimi başlığı kapsamında incelenmiştir.
- Yol uygulamaları (Ekici & Bougdah, 2003); yol kesitinde yapılan düzenlemelerle sesin kırınmasını ya da akustik gölge alanlar oluşturulmasını sağlayan uygulamalardır ve ek bir bariyer elemanından faydalanılmıyor olması nedeniyle bu başlıkta ele alınmamıştır.
- Helyum dolgulu bariyerler (Ekici & Bougdah, 2003); ses dalgalarının geçtiği ortam yoğunluğunun değiştirilmesi ile kırınma miktarını etkileme prensibine dayalı olması sebebiyle bariyer yoğunluğu ile ilişkilidir yapısal düzenlemeler kapsamında ele alınmamıştır.
- Fotovoltaik bariyerler (Watts & Morgan, 2005); gürültü kontrolü ve güneş enerjisi dönüşümü ile elektrik üretiminin bir arada sağlandığı sürdürülebilir uygulamalardır ve çok kenarlı bariyerlere entegre edilmiş paneller ile enerji üretimi yapılmaktadır. Yapısal bir düzenleme değil, sürdürülebilir sistem önerisi olduğundan herhangi bir bariyer ile birlikte uygulanabilir ve bu nedenle yapısal uygulamalar kapsamında ele alınmamıştır.

Referans kaynaklarda bariyer tasarımı yapısal uygulamaların bütünsel olarak ele alınmadığı görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada bariyer tasarımı yapısal uygulamalara ilişkin sınıflandırma için kaynakların derlenmesi ile bir içerik oluşturulmuş; ana kaynakların yanında konu ile ilgili özelleşmiş yardımcı kaynaklardan

da faydalanılarak içerik geliştirilmiştir. Referans kaynaklarda verilmiş olan uygulama tanımları karşılaştırılarak; farklı kaynaklarda aynı şekilde tanımlanmış ancak farklı isimlendirilmiş başlıklar, ortak bir başlıklarda toplanarak incelemeye alınmıştır. Oluşturulan içerik ve faydalanılan kaynaklarla ilgili düzenlemeler Tablo 3.4 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 3.4. *Bariyer tasarımında yapısal uygulamaların sınıflanması*

(Fujiwara, Kim, & Ohkubo, 1998), (Kotzen & English, 1999), (FHWA, 2000), (Samuels, 2001), (Ekici & Bougdah, 2003), (Watts & Morgan, 2005), (Watson, 2006), (Aznarez, 2007), (Levy & Cohen, 2009)

Kaynak	Bariyer Tasarımında Yapısal Uygulamalar										
	Kapama Tip Bariyerler	Dikey Bariyerler	Eğik Düzlem Bariyerler	Dağıtıcı Bariyerler	Düzensiz Kenarlı Bariyerler	Silindirik Başlıklı Bariyerler	Çok Kenarlı Bariyerler	Reaktif Bariyerler	Ters Faz Bariyerleri	Müdahil Tip Bariyerler	Çit Bariyerler
(Fujiwara, Kim, & Ohkubo, 1998)								Reaktif Bariyerler			
(Kotzen & English, 1999)	Konsol, Galeri, Panjurulu B, Tüneller					Silindirik Başlıklı Bariyerler	Çok Kenarlı, T-Formlu, Y-Formlu Bariyerler	Ters Faz Bariyerleri			Testere Dişli Pürüzü Kenarlı Bariyerler
(FHWA, 2000)				Zig-zag Bariyerler		Silindirik Başlıklı Bariyerler		T-Formlu, Y-Formlu, Yay Formlu Bariyerler			Çit Bariyerler
(Samuels, 2001)					Düzensiz Kenarlı Bariyerler	Yutucu Tepe Profilli Bariyerler	T-Formlu, Çok Kenarlı Bariyerler	Reaktif Bariyerler			Çit Bariyerler
(Ekici & Bougdah, 2003)	Kapama Tip Bariyerler	Dikey Yanıtıcı Bariyerler	Eğik Düzlem Bariyerler	Dağıtıcı Bariyerler	Düzensiz Kenarlı Bariyerler	Yutucu Tepe Profilli Bariyerler	Çok Kenarlı Bariyerler	Reaktif Bariyerler	Ters Faz Bariyerleri	Müdahil Tip Bariyerler	Çit Bariyerler
(Watts & Morgan, 2005)		Yanıtıcı, Merkezli Bariyerler				Silindirik Başlıklı Bariyerler	Dirsekli, T-Formlu, Çok Kenarlı Bariyerler	Reaktif Bariyerler		Müdahil Tip Bariyerler	
(Watson, 2006)		Dikey Bariyerler	Eğik Düzlem Bariyerler			Silindirik, Mantar Başlıklı Bariyerler	T-Formlu, Çok Kenarlı Bariyerler				Dişli Tepe Profilli Bariyerler
(Aznarez, 2007)							Y-Formlu Bariyerler				
(Levy & Cohen, 2009)			Eğik Düzlem Bariyerler								

Bariyer tasarımında yapısal uygulamalar kapsamındaki kaynak derlemesi sonucunda oluşturulan bariyer türlerine ilişkin tanımlar aşağıda verilmiştir.

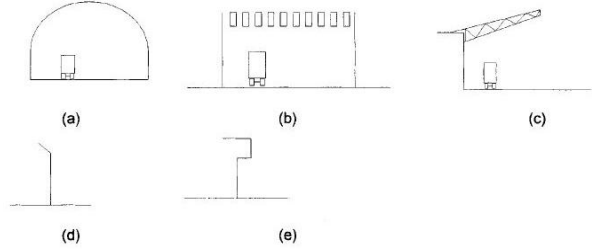
- **Kapama Tip Bariyerler:** Sesin bir yapı yardımıyla hapsedilmesiyle kaynak-alıcı arasında engel teşkil eden uygulamalardır.
- **Dikey Bariyerler:** Bariyer yapısında boyutlandırmaya ya da bariyer yüzeyinde malzeme niteliğine dayalı performans gösteren uygulamalardır.
- **Eğik Düzlem Bariyerler:** Sesin yansıma açısını değiştirerek, kaynak ve alıcıdan uzaklaşmasını sağlayan uygulamalardır.
- **Dağıtıcı Bariyerler:** Sesin yansıma açısını değiştirerek, çoklu yansımaları önleyen uygulamalardır.
- **Düzensiz Kenarlı Bariyerler:** Sesin yansıma açısını değiştirerek ya da kırınma miktarını etkileyerek alıcıdan uzaklaşmasını sağlayan uygulamalardır.
- **Silindir Başlıklı Bariyerler:** Bariyer tepe hattına yerleştirilen profiller yardımıyla form düzenlemeleri ya da malzeme niteliğine dayalı performans gösteren uygulamalardır.
- **Çok Kenarlı Bariyerler:** Bariyer tepe profilinin şekil, boyut ya da malzeme niteliğine dayalı performans gösteren, ek kırınma kenarları oluşturma prensibine dayalı uygulamalardır.
- **Reaktif Bariyerler:** Bariyer tepesindeki oluklara giren sesin akustik basıncının düşmesi prensibine dayanarak; gürültü düzeyinin azaltılmasını sağlayan uygulamalardır.
- **Ters Faz Bariyerleri:** Bariyer yapısındaki oluklu yapıdaki kanallardan geçen sesin, serbest havadan daha yavaş yayılması prensibine dayanarak; sesin filtrelenmesi ile gürültü azalması sağlayan uygulamalardır.
- **Müdahil Tip Bariyerler:** Bariyer tepesindeki farklı uzunluğa sahip kanallardan geçen sesin, bariyer kenarından kırınan ses ile karşılaşarak sönümlenmesi prensibine dayanarak; ses iletiminin geciktirilmesi ile gürültü azalması sağlayan uygulamalardır.
- **Çit Bariyerler:** Bariyer tepesindeki çit düzenlemeleri ile çit yapısının farklı kenarlarında kırınan ve açıklıklarından geçen sesin birbirini sönümlemesi prensibine dayanarak; gürültü azalması sağlayan uygulamalardır.

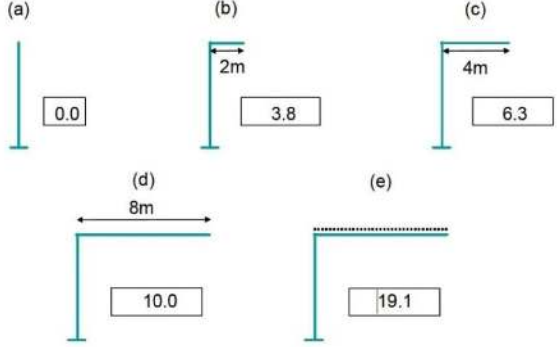
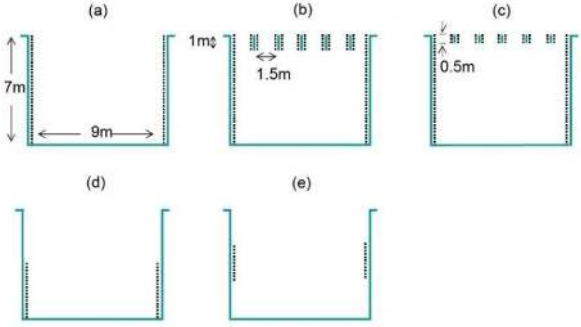
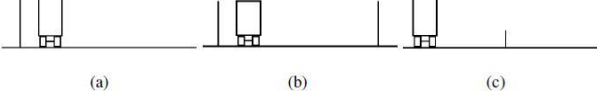
Bariyer tasarımı yapısal uygulamaların tanımları incelendiğinde;

- Kapama tip bariyerlerin kapalı sistem düzenlemeleri,
- Dikey bariyerler ve eğik düzlem bariyerlerin kesit düzleminde açışal yerleşim düzenlemeleri,
- Dağıtıcı bariyerlerin plan düzleminde biçimsel yerleşim düzenlemeleri,
- Düzensiz kenarlı, silindirik başlıklı, çok kenarlı, reaktif, müdahil tip, çit bariyerlerin tepe profili kesitinde düzenlemeler ve
- Ters faz bariyerlerinin bariyer kesitinde düzenlemeler ile ilişkili olduğu belirlenmiştir.

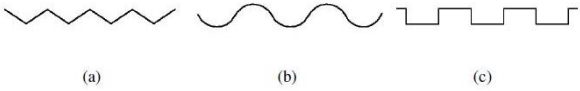
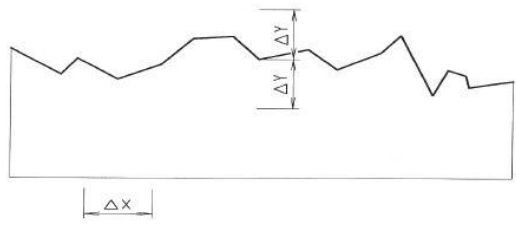
Buna dayanarak oluşturulan içerik kapsamında yapısal uygulamalar belirlenen bu alt başlıkları; tanım, boyut, form, görsel, çalışma prensibi, performans değerleri gibi açıklayıcı veriler dâhilinde, uygulamalar ile ilgili genel bilgi vermek amacıyla tablolastırılarak incelenmiştir (Tablo 3.5)

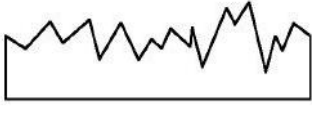
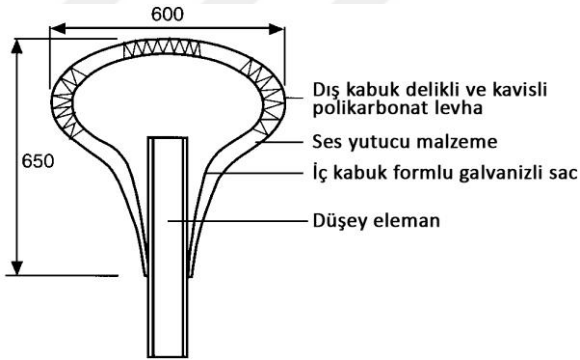
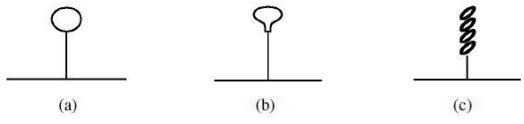
Tablo 3.5. Gürültü bariyerlerinde yapısal uygulamalar

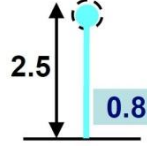
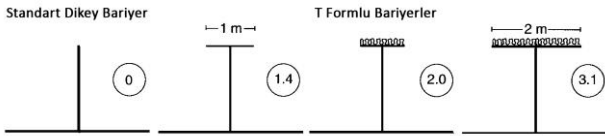
BİÇİMSEL DÜZENLEME UYGULAMA ÇEŞİDİ	KAYNAK	AÇIKLAMA	GÖRSEL
Kapalı Sistem Düzenlemeleri			
Kapama Tip Bariyerler	(Ekici & Bougdah, 2003)	Tünel yapıları, panjurlu bariyerler, konsol bariyerler, dirsekli bariyerler ve kutu kesitli bariyerler gibi gürültüyü hapsedici kontrol yöntemlerini içermektedir. Kapalı sistemlerde görülen yankı ve havalandırma problemlerine karşı önlem alınmalıdır.	 (a) Tünel yapısı, (b) Panjurlu bariyer, (c) Konsol bariyer, (d) Dirsekli bariyer, (e) Kutu kesitli bariyer

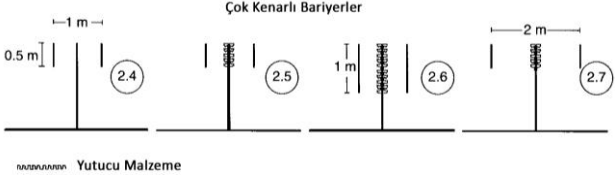
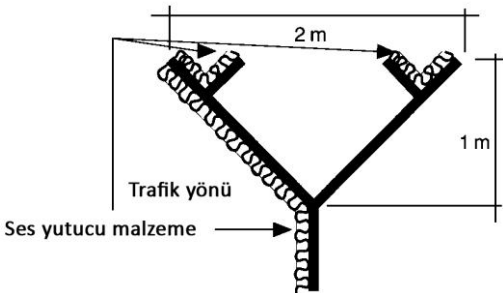
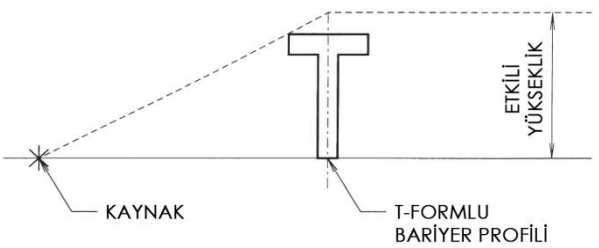
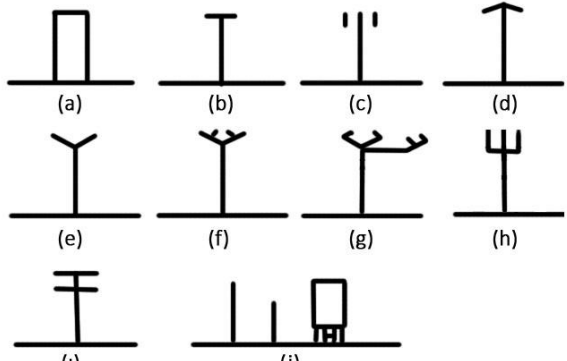
Kapalı Sistem Düzenlemeleri	Kapama Tip Bariyerler	(Watts & Morgan, 2005) Gürültünün yayılımını azaltmak için kaynak çevresinde yapılan kısmi ya da bütüncül kapama uygulamalarını içerir. Bütüncül kapama uygulamaları, kaynak kullanıcısının konforunu havalandırma, ışık alımı gibi faktörlerde olumsuz etkileyeceğinden; panjur ya da çatı kapamaları yapılarak ya da kısmi kapamalarda kaynak alan çerperlerinde yutucu malzeme uygulanarak gürültü kontrolü sağlanabilir.	 <i>Farklı konsol bariyerlerin gürültü kayıplarının karşılaştırması</i> (a) 6 m dikey bariyer, (b) 2 m konsol bariyer, (c) 4 m konsol bariyer, (d) 8 m konsol bariyer, (e) Yutucu üst yüzeyli 8 m konsol bariyer  <i>Kapama tip bariyerler için tasarım önerileri</i> (a) Yutucu iç yüzeyli yapı, (b) 1 m yutucu panjurlu yapı, (c) 0.5 m yutucu panjurlu yapı, (d) %50 Yutucu iç yüzey, (e) %33 Yutucu iç yüzey; (a), (b), (c) azaltım değeri >14 dB(A); (c), (d) azaltım değeri < 10dB(A)
Kesit Düzeniminde Açılabilir Yerleşim Düzenlemeleri	Dikey Bariyerler	(Ekici & Bougdah, 2003) İnce duvarlar ile yapılan standart bariyer tiplerinin akustik etkinliğini içermektedir.	 (a) Tekil bariyer, (b) Çoklu bariyer, (c) Orta bariyer yerleşimi

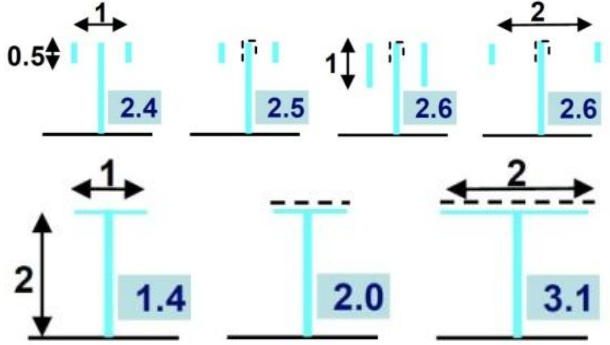
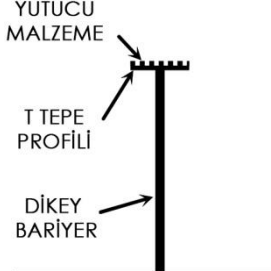
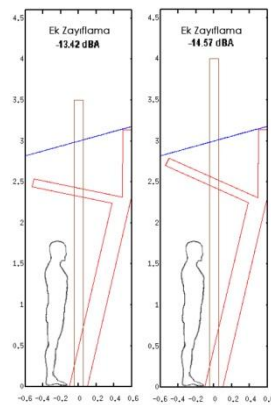
Kesit Düzleminde Açıl Yereşim Düzzenlemeleri	Dikey Bariyerler		(Watts & Morgan, 2005)	Standart yansıtıcı gürültü bariyerleri malzeme seçimi ve bariyerin fiziksel özellikleri doğrultusunda performans göstermektedirler.	<i>Yükseklik değışimine bağlı olarak yansıtıcı bariyerlerin gürültü kayıplarının karşılaştırması</i>
	Eğik Düzlem Bariyerler		(Ekici & Bougdah, 2003)	İstenmeyen çoklu yansıma problemlerine karşı; geniş karayollarında 3°, dar karayollarında ise 10-15° eğimle oluşturulan düşey bariyer tipidir. Bu şekilde ses yansıyarak kaynak ve alıcıdan uzaklaştırılır.	<i>Eğik düzlem bariyer</i>
	Eğik Düzlem Bariyerler		(Watson, 2006)	Açılı bariyerlerin özellikle yansıyan gürültüyü azaltmada dikey bariyerlere kıyasla fayda gösterdiği belirtilmiştir.	
	Eğik Düzlem Bariyerler		(Levy & Cohen, 2009)	Ses ışınlarının geliş açısı yansıma açısına eşittir. Dik konumdaki bariyerler sesin yansıyarak uzaklaşmasını sağlamakta ve alıcıdaki gürültü maruziyetini engellemektedir. Ancak en iyi sonuç için sesin kaynaktan uzaklaştığı eğik yerleşimler uygulanmalıdır.	<i>Geometrinin yansıma ile ilişkisi</i>

Plan Düzleminde Biçimsel Yerleşim Düzenlemeleri	Dağıtıcı Bariyerler	(FHWA, 2000)	Bir "zig-zak" ya da "trapezoidal" konfigürasyonda düzenlenmiş beton panellerin kullanıldığı bir bariyer avantajlıdır, çünkü temel yapılmaksızın yapısal olarak sağlamdır. Bu tür bir bariyer, formda çeşitlilik sağladığından; görsel olarak da estetik görünüm sunar. Bununla birlikte, alıcı tarafında önemli bir ilave ses azaltma faydası yoktur.
Tepe Profili Kesitinde Düzenlemeler	Düzensiz Kenarlı Bariyerler	(Ekici & Bougdah, 2003)	Zig-zak, dalgalı vb. yerleşimleri ile istenmeyen çoklu yansımaları önlemeye yönelik çalışılmış bariyer tipleridir. Plan düzleminde daha çok yer işgal etmelerine rağmen estetik ve yapısal avantajlara sahiptirler.  Plan görünümü (a) Zigzak biçimli, (b) Dalga biçimli, (c) Kale biçimli yerleşim
		(Samuels, 2001)	Trafik gürültüsü, uzun dizilimli nokta kaynaklardan oluşan çizgisel kaynak özelliği gösterdiğinden; düz tepeli bir bariyer üzerinde kırınması üst sınır etkisinde olacaktır. Bu sorunun üstesinden gelmek için bariyerin zayıflama performansını arttırmak amacıyla, sesin bariyerin tepe noktasından dağılması prensibi göz önüne alınarak; bariyerin düz tepesinin düzensiz kenarlı bir profille değiştirilmesi önerilmektedir. 

Tepe Profili Kesitinde Düzenlemeler			
Düzensiz Kenarlı Bariyerler	(Ekici & Bougdah, 2003)	Bir kaynaktan gelen dalgaların, farklı konumlardaki bariyer tepeleri ile karşılaşması ile ses dalgasının kesintiye uğrayarak yansımaya ya da kırınımını sağlamayı amaçlamaktadır.	 <i>Düzensiz kenarlı bariyer (Boy kesiti)</i>
	(Kotzen & English, 1999)	Düşey bariyer tepelerine monte edilen silindirik ya da mantar formu yansıtıcı ya da yutucu özellikteki başlıklar ile gürültü kontrolü sağlanmaktadır. Yansıtıcı başlık kullanılan bir bariyerin etkisi, kendisinden 2 m. daha uzun bir dikey bariyerle aynıdır, ancak dikey bariyerin tepsine yerleştirilen 0.6 m. genişliğinde bir mantar kesit 2-3 dB(A) ve yutucu malzeme kullanımı yansıtıcı yüzeye göre 3 dB(A) daha fazla fayda sağlamaktadır.	 <i>Yutucu özellikte mantar formu bariyer tepe profili kesiti</i>
	(Ekici & Bougdah, 2003)	Sesin yutulması için bariyer tepesinde uygulanacak yutucu yüzeyli form değişiklikleri ya da yutucu özellikte bariyer yüzeyi kullanılması ile gürültünün azalmasını kapsamaktadır. Bariyer tepe profilleri; bariyer kalınlığı, sesin frekansı, kırılma ve geliş açılara bağlı olarak gürültü düzeylerinde ilave azaltıcı bir etki oluşturmaktadır.	 (a) Silindir başlıklı, (b) Mantar başlıklı, (c) Yatay panjurlu bariyerler

Tepe Profili Kesitinde Düzenlemeler			
Çok Kenarlı Bariyerler	Silindir Başlıklı Bariyerler	(Watts & Morgan, 2005) Alıcıların 8 m yukarısında yüksek bir yol üzerinde bulunan 3 m yüksekliğinde bir bariyere takılan silindir başlık ile yol kenarından 5 m ve 20 m 'den alınan ölçümlere göre; 2.3 ve 1.8 dB(A) gürültü kaybı sağlanmaktadır. 2.5 m yüksekliğinde bir bariyer tepesine eklenen profil ile ise 0.8 dB(A) azalma elde edilmiştir.	 <i>Silindir başlıklı profilin gürültü kaybı</i>
		(Watson, 2006) Örnek bir bariyer uygulaması üzerinde yapılan çalışma ile 30 cm ek bariyer yüksekliği ile teşkil edilen bir mantar başlıklı bariyerin 61-166 cm ek dikey bariyer yüksekliği ile aynı performansı gösterdiği belirlenmiştir.	
		<u>T Formlu Bariyerler</u> Dikey bir bariyer üzerine eklenen yatay düzlem doğrultusunda sağlanan gürültü azaltım değerinin etkileri incelenerek; 1m yansıtıcı T başlıkla 1.4 dB, 1m yutucu T başlık ile 2 dB, 2m yutucu T başlık ile 3.1 dB azaltım olduğu belirlenmiştir.	 <i>Standart bir dikey bariyer ile T-formlu bariyerlerin gürültü kayıplarının karşılaştırması</i>

Tepe Profili Kesitinde Düzenlemeler	Çok Kenarlı Bariyerler	(Kotzen & English, 1999)	Çok Kenarlı Bariyerler Yansıtıcı ve yutucu özellikte çok kenarlı bariyer uygulamalarında yapılan; ek gürültü kontrolü değerlerini içeren çalışmaları kapsamaktadır. Standart dikey bariyer, T başlıklı bariyer ve çok kenarlı bariyer karşılaştırmaları yapılmıştır.	 Standart bir dikey bariyer ile Çok kenarlı bariyerlerin gürültü kayıplarının karşılaştırması
		(Kotzen & English, 1999)	Y Formlu Bariyerler Kırıcı kenarların artırılmasına olanak tanıyan yutucu gereçle kaplanmış bu tip bariyer ile ek gürültü azaltım değerlerinin sağlandığı belirlenmiştir.	
		(Samuels, 2001)	T Formlu Bariyerler Bir bariyerin etkili yüksekliğinin T tepe profili kullanılması ile düşürülebildiği, ilişkili enine kesiti üzerinden belirtilmiştir.	
		(Ekici & Bougdah, 2003)	Çok Kenarlı Bariyerler Düşey bir bariyerde ek kenarlar oluşturarak, ek kırınma sağlanmasının gürültü kontrolüne olan etkisinin artırılmasını kapsamaktadır. Bu bariyer tipi çoklu kırınma sağlayarak gürültü kontrolünde etkili olur.	 (a) Kalın bariyer, (b) T formlu bariyer, (c) Ek destekli bariyer, (d) Ok formlu bariyer, (e) Y formlu bariyer, (f) Y formlu ek başlıklı bariyer, (g) Dal formlu bariyer, (h) U profil başlıklı bariyer, (i) Çam formlu bariyer, (j) Çift bariyer

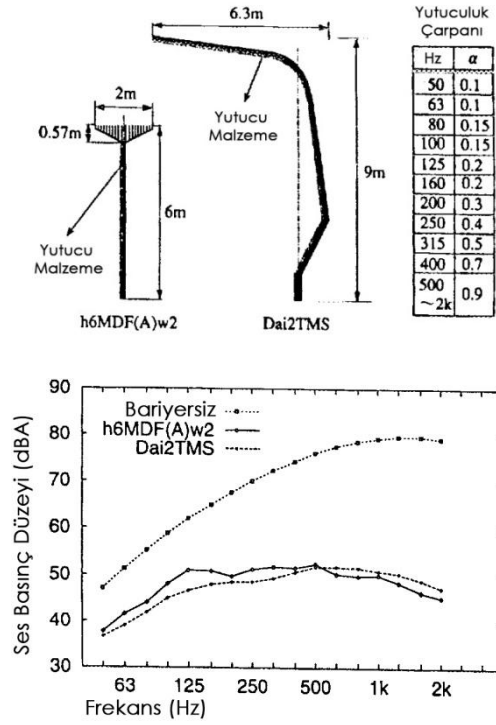
Tepe Profili Kesitinde Düzenlemeler	Çok Kenarlı Bariyerler	(Watts & Morgan, 2005)	<u>Çok Kenarlı ve T Formlu Bariyerler</u> Bu bariyer tiplerinin aynı yükseklikte bir dikey bariyere kıyasla sağladıkları gürültü kayıpları şekillerde ifade edilmiştir.	 Çok kenarlı ve T-formlu bariyerlerin gürültü kayıplarının karşılaştırması
		(Watson, 2006)	<u>T Formlu Bariyerler</u> T tepe profili kullanılan bir bariyer tasarımında, bariyerin arkasındaki gürültü seviyesinin; dikey bir gürültü bariyerine kıyasla 1.0-1.5 dB(A) düştüğü ve profil üzerinde yutucu malzeme kullanılması ile bu seviyenin 2.0-3.0 dB(A) ya yükseldiği görülmüştür.	 Yutucu malzeme ile kaplı T tepe profili
		(Aznarez, 2007)	<u>Y Formlu Bariyerler</u> Y tepe profilli bir bariyerin optimum gürültü azaltım değerinin belirlenmesi için yapılmış olan çalışma kapsamında; eğik konumlanmış bir Y formlu bariyerin 3.5 m yüksekliğinde dikey bariyere kıyasla 2.21 dB(A), 4 m yüksekliğindeki dikey bariyere kıyasla ise 2.45 dB(A) ek gürültü azalması sağladığı belirlenmiştir.	

Tepe Profili Kesitinde Düzenlemeler

Reaktif Bariyerler

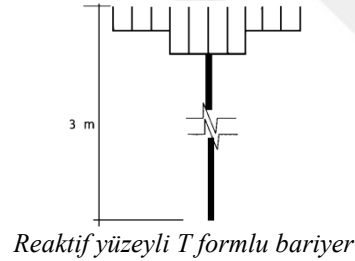
(Fujiwara, Kim, & Ohkubo, 1998)

Gürültü bariyerinin kenarına yerleştirilen reaktif bir yüzeyle sahip küçük engellerle zayıflama miktarı incelenmiştir. Yutucu malzemeden daha iyi sonuç veren yüzeyin tasarımı akustik oluklar teşkil edilmiş ve performansları incelenmiştir. Bu araştırma ile 9 m yüksekliğinde, 6.3 m genişliğinde, toplam 14 m uzunluğunda bir eğik bariyerle daha küçük boyutlardaki reaktif bariyer alternatifleri karşılaştırılmış ve eşdeğer performans gözlenmiştir.



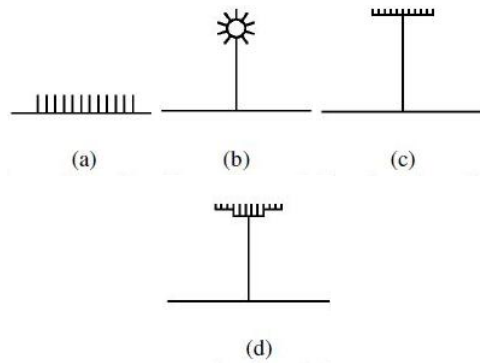
(Kotzen & English, 1999)

Reaktif yüzeyli T formu bariyer tasarımı ile sesin dalga boyunun dörtte birine eşit olan oluk uzunlukları ile tasarlanmış bariyer tepesinde sesin sönümlenmesi ile gürültü kontrolü sağlanmıştır. Tam  l ek testlerinin sonuçları bildirilmemiş olmakla beraber, rapor sonuçlarına göre 6-10 dB arası azalma meydana gelmektedir.



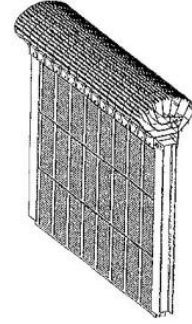
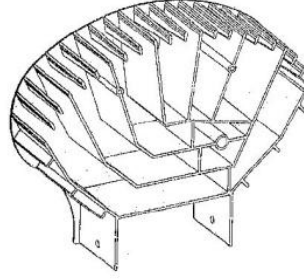
(Ekici & Bougdah, 2003)

Bir dizi paralel oluk vasıtasıyla gürültüde zayıflama prensibi ile çalışmaktadır. Yumuşak  st yüzeyli bir T-bariyerin, aynı yükseklikte sert düzlemsel bir bariyere kıyasla daha geniş bir frekans aralığında iyileşme içerdiğinden bu oluklu profiller daha avantajlı görülmektedir.

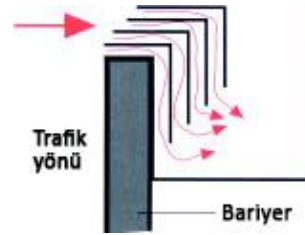


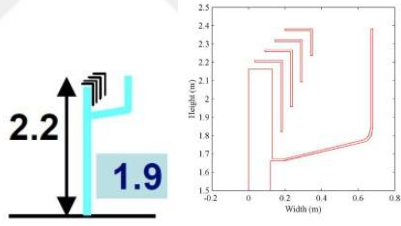
(a) Paralel oluk dizilimi, (b) Su  arkı formu, (c) Sabit derinlikli T başlıklı bariyer, (d) Değişken derinlikli T başlıklı bariyer

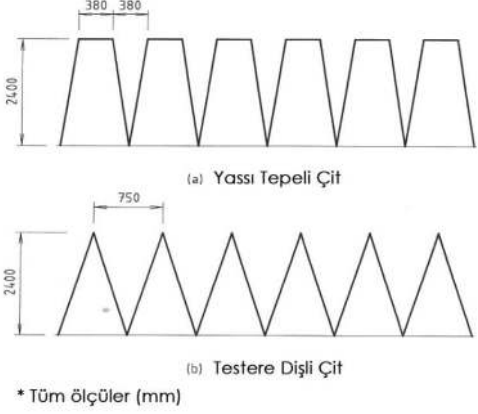
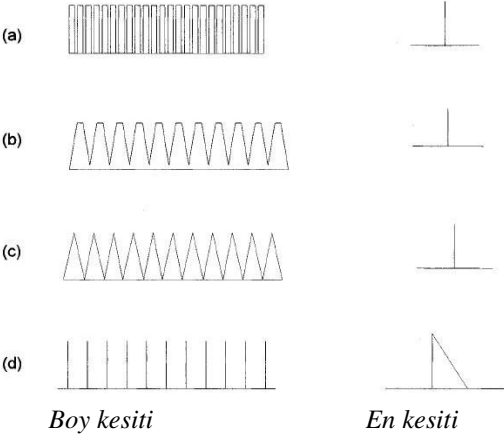
Tepe Profili Kesitinde Düzenlemeler			
	Reaktif Bariyerler	(Watts & Morgan, 2005)	Bariyer tepesine yerleştirilen; değişken uzunluktaki, 1/4 dalga boyu içeren profil ile bir dizi kanal oluşturularak, bu kanallarda akustik basıncın düşmesi ile gürültü kontrolünü sağlanmaktadır. Profil alanı yediden fazla kanal bulunması için yeterli olmadığından; trafik gürültüsü spektrumundaki tüm frekans aralığını etkileyememektedir. Tepe profili; sentetik reçine malzemesinden yapılır ve enjeksiyon ile kaplanır. Bu şekilde talep edilen yumuşak yüzey sağlanmış olur.
	Müdahil Tip Bariyerler	(Kotzen & English, 1999)	Birbirine benzer iki sesin etkileşime girerek birbirini sönümlemesine dayanarak; dikey bir bariyerin üst kısmına 0.5 m genişlikte ve 0.7 m derinlikte pasif bir cihaz takılması ile bariyerin üst kenarında kırılan sesin kutuya dört açılı kenarlardan girmesi ve kanalların eşit olmayan uzunlukları sebebi ile kanalların çıkışında ortalama 1.9 dB azaltım sağlanması olarak tanımlanmıştır.

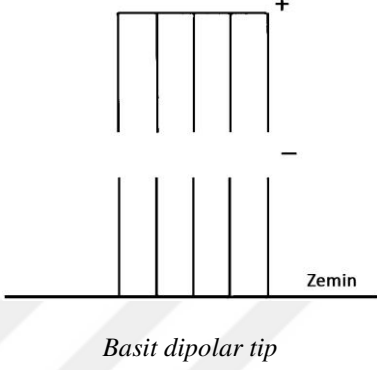
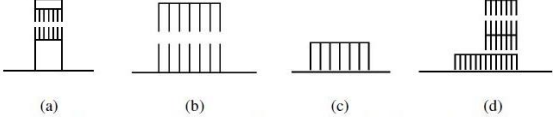


Tepe profili kesiti



Tepe Profili Kesitinde Düzenlemeler		
Çit Bariyerler	Müdahil Tip Bariyerler	
	(Kotzen & English, 1999)	(Ekici & Bougdah, 2003)
	Bu bariyer tipi, testere dişli uzunlamasına tepe profili bulunan bariyerlerde; dişler arasında iletilen ses ile bariyer üzerinden kırılan sesin birbirlerini sönümleyici etkileşiminden faydalanmaktadır. Aynı yükseklikte standart bir dikey bariyere kıyasla 1.5-4.5 dB iyileşme sağlanabilmektedir. Model testleri üzerinden alınan ölçümlerde, bariyerin yüksek frekanslarda daha iyi sonuç verdiği, düşük frekanslarda ise yetersiz kaldığı raporlanmıştır. Bariyer yüzeyinin yutucu gereç ile kaplanması bariyer performansını arttıracığı belirtilmiştir.	İki bitişik boş geçit arasındaki uzunluk, yükseklik ya da genişlik farkı neticesinde, boşlukta ilerleyen sesin yön değiştirmesi ya da kırınımı ile ses iletiminde gecikme sağlanması yöntemi ile gürültünün azaltılmasını sağlayan bariyerlerdir. Ancak azalmanın birincil sebebinin bariyer üzerindeki panel olduğu belirlenmiştir.
	(Watts & Morgan, 2005) Gürültü bariyerlerinin akustik performanslarını iyileştirmek için geliştirilmiş gürültü azaltım yöntemidir. Çalışma prensibi, sesin kat ettiği yolu artırma ile ilgilidir. Ses kanallardan geçerek; bariyer üzerinden geçen ses ile karşılaşır ve sönümlenir. Bu bariyer tipi aynı yükseklikte bir dikey bariyere kıyasla 1.9 dB(A) daha fazla ses kaybı sağlar. Bu cihaz, mevcut bariyerlere ek destek olmadan tutturulabilmesi için hafif plastik malzemeden yapılmaktadır.	(a) (b) Müdahil tip bariyerler (Sol tarafta gürültü kaynağı)  Müdahil tip bariyerlerin gürültü kayıpları Tepe eklentisinin boyutsal oranları

Tepe Profili Kesitinde Düzenlemeler	Çit Bariyerler		
	(Samuels, 2001)	Bariyer performansındaki iyileşmelerin, bir bariyerin üst kenarına uzunlamasına bir profil uygulanarak elde edilebileceği önerilmiştir. Bu öneri arkasındaki teori sönümleyici bir ses alanı oluşturulmasını içerir. Wirt, 1979 yılında yaptığı çalışmada; bu teoriyi hem yassı tepeli hem de sivri testere dişi üst profilleri üzerinde “Thnadners” olarak bilinen laboratuvar tabanlı ölçekli model testleri ile araştırmış ve bu tepe profilleri ile 1.5 - 4.0 dBA aralığında zayıflama elde etmiştir. Ancak; May ve Osman 1980, Hutchins ve diğerleri 1984 yılında yaptıkları çalışmalarda bu bariyerlerin aynı yüksekliğe sahip geleneksel bariyerlerden daha düşük performans gösterdiğini ifade etmişlerdir.	 (a) Yassı Tepeli Çit (b) Testere Dişli Çit * Tüm ölçüler (mm)
	(Ekici & Bougdah, 2003)	Değişken genlik ve faz aralıklarında derin gölge alanları oluşturmaya yönelik sivri ya da düz tepeli ve tepeler arası açıklıklar içeren hem optik hem akustik olarak açık bariyer tipleridir. Gölge alanın artırılması için bariyer arkasındaki alanda sesin daha yüksek olması prensibi ile bariyer önünde ses düzeyinin azalması için kullanılır. Yüksek ses alanı nispeten zararsız yön dikkate alınarak belirlenir. Açıklık oranı arttıkça bariyer performansı düşer ancak boşluklarda kullanılacak yutucu malzeme ile yüksek frekanslara karşı performans artırılabilir. Görsel iletişimin zorunlu görüldüğü ve rüzgâr yükünün karşılanması gereken durumlarda kullanılırlar.	 (a) Çit parmaklık, (b) Düz tepeli çit, (c) Dişli çit, (d) Dağıtıcı çit Boy kesiti En kesiti

Bariyer Kesitinde Düzenlemeler	Ters Faz Bariyerleri	(Kotzen & English, 1999) Bir ya da birden fazla dalga filtre takımı içeren daha karmaşık bir bariyer çeşididir. Alçak geçirgen filtreler; iletilen ışını etkili bir biçimde geçirir ve bariyer üzerinde kırılan ışın ile karşılaştığında sesler birbirini sönmeler. Benzer yükseklikte bir dikey bariyer ile kıyaslandığında düşük frekanslarda 5 dB iyileşme olduğu ancak yüksek frekanslarda performansın düştüğü rapor edilmiştir.	 <i>Basit dipolar tip</i>
		(Ekici & Bougdah, 2003) Açıklık içeren bariyerlerde; düşük frekanslı seslerde, açıklıklardan geçen sesin kırınma sonucu serbest havadan daha yavaş şekilde yayılması prensibi ile düşük frekanslara karşı gürültü azalmasını kapsayan kontrol sistemleridir. Ses düzeyindeki azalma; tepe noktasının üzerinden gelen dağılmış dalgalar ile açıklıktan geçen seslerin birbirlerini sönmeleri ile sağlanır. Katı bariyerlere kıyasla düşük frekanslarda 5 dB'lik iyileşme sağlanmıştır.	 <i>(a) Yavaş dalga kılavuzu, (b) Basit dipolar tip, (c) Yarım kılavuz dipolar tip, (d) Dörtlü tip</i>

3.3.3. Bariyer malzemesi

Gürültü bariyerlerinin işlevini karşılayacak akustik veriminin yeterli olması gerekmektedir. Sesin yansımaları, yutulması ve geçmesi davranışının kontrol altına alınması için uygun malzeme seçimleri yapılmalıdır.

Bir gürültü bariyeri malzemesi seçimi yapılırken; öncelikli olarak bulunduğu ortama uyum sağlaması önemlidir. Bu kapsamda bir ortamda baskın olan karakterle nötr bir ilişki yakalayacak tasarım yapılması önerilebilir. Örneğin; kırsal bir alanda toprak ya da bitki örtüsü, ormanlık alanda ahşap ürünler, manzaranın vurgulanmak istendiği kesitlerde görsel etkinin alınması için şeffaf malzemeler, tasarım formunun karşılanması ile ilişkili olarak endüstriyel ürünler ya da taşıyıcı sistem ihtiyacını karşılayacak çelik elemanlar kullanılabilir. Malzeme ve konstrüksiyon, bir gürültü bariyerinin temel yapısını ortaya koymaktadır. Malzeme niteliği, bir bariyerin arkasına iletilen ses miktarını ve bariyerin yansıtıcı ya da yutucu olma fonksiyonunu etkiler.

Havadaki ses dalgaları bölücü elemana çarparak, elemanın titreşimi sonucunda kaynak ortamından alıcı ortama geçer. Bariyerden geçen sesin düzeyi; sesin bariyerden geçme davranışını etkileyen, bariyer malzemesinin ses iletim kaybı değerine göre değişmektedir. Yeterli kütle ağırlığına sahip olan bir gürültü bariyeri; ses dalgalarının titreşimleri karşısında stabilitesini sağlayarak sesin alıcı çevresine geçişini engellemekte ve yüksek kütle ağırlığı ile daha yüksek performans göstermektedir. Kütle ağırlığı, bariyerin kütle ağırlığı yani malzeme niteliği ile ilgilidir. Bir gürültü bariyerinin, gürültü kontrolünün sağlanması ve bariyer arkası gölge alanın niteliğinin bozulmaması için minimum 20 kg/m² kütle ağırlığının sahip olması gerekmektedir (Garg & diğerleri, 2012).

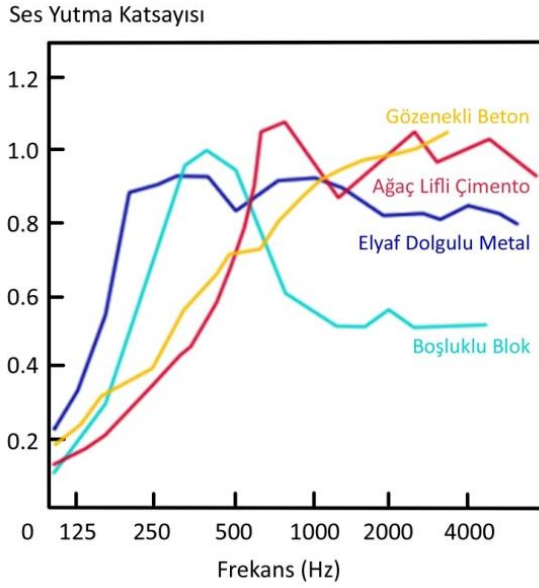
Yansıtıcı malzemeler, kaynaktan gelen ses enerjisinin ışınsal olarak yüzeyden yansımaları ile yönlendirilmesini ve uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Sesin uzaklığa bağlı azalması ile ilgili olarak bariyerin performans hesaplamaları yapılabilir. Sesin yansımaları özellikle karşılıklı konumlanmış bariyer uygulamalarında çoklu yansımalarla sebebiyet vererek gürültü düzeyini arttırmakta ve olumsuz etki yaratmaktadır. Bariyer formuna bağlı olarak ses yönlendirmesi sağlanabilir. Eğik yerleşimli bariyerler kullanılması; gürültü seviyesinin artışına neden olan çoklu yansıma sorununa karşı alternatif bir çözüm olarak sunulmaktadır.

Yutucu malzemeler prensip olarak; hava moleküllerini çok küçük lif ya da gözenekler içerisinde hareket etmeye zorlayarak ses enerjisinin düşürülmesini ve çoklu yansımaları ortadan kaldırarak sesin azalmasını sağlamaktadır (Ekici & Bougdah, 2003). Ancak bu gözenekli yapı dış mekân kullanımında, donma-çözülme olayı ilgili olarak malzeme üzerinde büyük miktarda kütle kaybına ve yüzey bozulmalarına yol açmaktadır. Bu faktörlere karşı yapılan önlem tasarımları nedeniyle; bu tip bariyerler; geleneksel malzemelere kıyasla yüksek maliyetli uygulamaları içerirler. (Klingner & diğerleri, 2003)

Yutucu malzemeler bariyerin serbest kenarlarına, yüzeyine ya da diğer yapı malzemeler ile birlikte dolgu malzemesi olarak bariyer katmanı olarak uygulanabilirler. Araştırmalar; bir bariyer üzerine yerleştirilen 0.46 m yüksekliğinde bir yutucu tasarım eklenmesi ile 1.1 m yüksekliğinde yansıtıcı yüzey etkinliğinin sağlandığını belirtmektedir (Ekici & Bougdah, 2003). Ölçekli bir modelde, bariyer yutuculuğunun, yansıtıcı ve yutucu özellikte paralel bariyerler de dâhil olmak üzere çeşitli yükseklikteki bariyerlerin kaynak tarafları üzerindeki etkileri test edilmiş; paralel bariyerlerin kaynak taraflarına yutucu malzeme ilave etmenin etkisinin, bariyer yüksekliğinin 0.33 m arttırılmasına eşdeğer olduğu gösterilmiştir (Lacasta & diğerleri, 2016). Yükseklik artışının uygun olmadığı alanlarda yutucu malzeme uygulamalarıyla ihtiyaç karşılanabilir.

Malzeme seçiminde; trafik kompozisyonu dikkate alınarak gürültüde etkin baskın frekans üzerinde etki sağlayabilecek çözüm uygulanmalıdır. Malzeme özelliğine bağlı olarak, malzeme performansları farklı frekans aralıklarında değişiklik göstermektedir. Watts ve Morgan; Londra'da Yol Trafik Gürültü Haritası'nın eylem planlaması ile ilgili analizleri sağlayarak, kullanılacak bariyer türünün belirlenmesine ilişkin hazırladıkları raporda; bariyer performansına yönelik bazı literatür verileri sunmuşlardır. Rapor kapsamında belirtilmiş olan, farklı katmanlaşma özellikleri gösteren ses yutucu malzemelerin frekansa dayalı performans değerleri Grafik 3.10 üzerinde gösterilmiştir.

Grafik 3.10. Yutuculuğun frekansa dayalı değişimi
(Watts & Morgan, 2005)



Aşağıdaki tabloda yapı malzemelerinin akustik fonksiyonları ile birlikte kesit ve gürültü azaltım değerlerinin karşılaştırması yer almaktadır (Tablo 3.6). Yutucu özellik taşıyan yapı malzemelerinin gürültü kontrolünde daha etkin oldukları görülmektedir.

Tablo 3.6. Gürültü bariyeri malzemelerinin akustik fonksiyonlarının karşılaştırılması
(Paşaoğlu, 2013)

Tür	Boyutlar (m)	Akustik Fonksiyon	Gürültü Azaltımı (dBA)
Ahşap Panel	L: 0,30 H: 2-3	Yutucu	18-19
Aluminyum ya da Çelik Panel	L: 0,30 H: 4-5	Yansıtıcı, yutucu	20-22
Güçlendirilmiş Beton Panel	L: 0,35 H: 3-4	Yansıtıcı, yutucu	17-19
Boşluklu Briket	L: 0,50 H: 2,5	Yansıtıcı, yutucu	15-16
Polikarbonlu Malzeme	L: 0,50 H: 3-4	Yansıtıcı	16-17
Toprak set üzerine çalılık	L: 15-18 H: 3-4	Yansıtıcı, yutucu	15 - 16
Ağaç ve Çalılıklar	L: En az 10 H: 8-9	Yutucu	3 - 4

Bir gürültü bariyerinin yansıtıcı ya da yutucu özellikte olması; kullanılan yapı elemanının malzeme nitelikleri ile ilgilidir. Bariyer uygulaması için uygun malzeme seçiminin yapılabilmesi için, bariyer yapımında kullanılan yapı malzeme nitelikleri incelenmiştir.

(Kotzen & English, 1999), kapsamında çalışılan gürültü bariyeri uygulamalarında kullanılan malzeme gruplandırması aşağıda verilmiştir.

- Ahşap Bariyerler
- Metal Levha Bariyerler
- Beton Bariyerler
- Blok Bariyerler
- Plastik, PVC, Fibreglass Bariyerler
- Şeffaf Bariyerler
- Toprak Yığın Bariyerler
- Bitkilendirilmiş Toprak Yığın Bariyerler
- Bitkilendirilmiş Bariyerler
- Bio-Bariyerler

(FHWA, 2000), kaynağında gürültü bariyeri yapımında kullanılan malzemeler; malzeme özellikleri, kullanım alanları ve malzeme kalitesine yönelik konular işlenmiştir. Kaynak kapsamında çalışılan gürültü bariyeri uygulamalarında kullanılan malzeme gruplandırması aşağıda verilmiştir.

- Ahşap Bariyerler
- Metal Bariyerler
- Beton Bariyerler
- Blok Bariyerler
- Plastik Bariyerler
- Şeffaf Bariyerler
- Kompozit Bariyerler
- Geri Dönüşümlü Kauçuk Malzeme

(Klingner & diğerleri, 2003), kaynağında çalışılan gürültü bariyeri uygulamalarında kullanılan malzeme gruplandırması aşağıda verilmiştir.

- Ahşap Malzemeler
- Çelik Malzeme
- Alüminyum Malzeme

- Beton ve Çimento Esaslı Malzemeler
- Blok Malzemeler
- Plastik Malzemeler

(Ekici & Bougdah, 2003), kaynağında bariyer türleri kapsamında çalışılan gürültü bariyeri uygulamalarında kullanılan malzemeler aşağıda verilmiştir.

- Dikey Yansıtıcı Bariyerler
- Yutucu Bariyerler
- Bio-Bariyerler ve Bitkilendirme
- Toprak Dolgulu Bariyerler

(EPD, 2003), kaynağında çalışılan gürültü bariyeri uygulamalarında kullanılan malzeme gruplandırması aşağıda verilmiştir.

- Metal Bariyerler
- Beton Bariyerler
- Plastik Bariyerler
- Şeffaf Bariyerler
- Geri Dönüşümlü Malzeme
- Toprak Yığın Bariyerler
- Alternatif Malzemeler (Cam, akrilik ve diğer sentetik malzemeler, içi boş sac metal kutu bölümleri ve gözenekli beton gibi bariyerlerde çeşitli malzemeler, söğüt veya benzeri odunsu bitkilerin yaşayan bariyerleri de dahil olmak üzere peyzajlı bariyer sistemleri gibi)
- Ses Yutucu Malzemeler

(Watts & Morgan, 2005), kaynağında bariyer türleri kapsamında çalışılan ve gürültü bariyeri uygulamalarında kullanılması önerilen malzemeler aşağıda verilmiştir.

- Geri Dönüşümlü Malzemeler
- Toprak Dolgulu ve Bitkisel Bariyerler
- Yansıtıcı Bariyerler
- Yutucu Bariyerler

(Bjelić & diğerleri, 2012), kaynağında çalışılan gürültü bariyeri uygulamalarında kullanılan malzeme gruplandırması aşağıda verilmiştir.

- Ahşap Bariyerler
- Beton Bariyerler
- Metal Bariyerler

- Şeffaf Bariyerler
- Toprak Yığın Bariyerler

(Garg & diğerleri, 2012), kaynağında çalışılan gürültü bariyeri uygulamalarında kullanılan malzeme gruplandırması aşağıda verilmiştir.

- Ahşap Malzeme
- Çelik (Galvanize, Paslanmaz) Malzeme
- Alüminyum Malzeme
- Kompozit Malzeme
- Beton/Tuğla/Blok Malzeme
- Polikarbon/Akrilik Malzeme
- Cam Malzeme
- Özel Yapım Akustik Panel
- Geri Dönüştürülmüş Malzeme

(CEDR, 2017), kaynağında çalışılan gürültü bariyeri uygulamalarında kullanılan malzeme gruplandırması aşağıda verilmiştir.

- Ahşap Bariyerler
- Beton Bariyerler
- Metal Bariyerler
- Şeffaf Bariyerler
- Gabion Bariyerler
- Toprak Yığın Bariyerler
- Bio-Bariyerler ve Dikey Yeşil Sistemler

Referans kaynaklarda; bariyer tasarımında kullanılabilecek malzemelerin bütünsel olarak ele alınmadığı görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada bariyer tasarımında kullanılabilecek malzemelere ilişkin sınıflandırma için kaynakların derlenmesi ile bir içerik oluşturulmuş ve geliştirilmiştir. Oluşturulan yeni içerikte ele alınan bariyer malzemeleri aşağıda verilmektedir.

- Ahşap Malzemeler
- Metal Malzemeler
- Beton Malzemeler
- Plastik Malzemeler
- Şeffaf Malzemeler
- Blok Malzemeler

- Kompozit Malzemeler
- Akustik Malzemeler
- Geri Dönüşümlü Malzemeler
- Toprak Yığın Bariyerler
- Bitkisel Bariyerler
- Bio-Bariyerler

Bariyer tasarımında ahşap, metal, beton, blok, plastik, cam, tuğla gibi yapay **malzemeler** kullanılabileceği gibi; toprak, bitki örtüsü gibi **doğal malzemelerden** de faydalanılabilmektedir. **Yapay malzemeler**, tek ya da çok bileşenli olarak kullanılabilmektedir. Gürültü bariyerleri, katmanlaşma niteliği göstermeksizin tek bileşenli malzemeler ile uygulanabileceği gibi; çok bileşenli duvar örgüleri ya da katmanlaşmış yapı malzemeleri ile de imal edilebilir. Gürültü kontrolünde etkin çözüm sunabilmek adına, günümüz teknolojisinde ihtiyaç duyulan bariyer performansını karşılamaya yönelik içerik düzenlemeleriyle kompozit ve akustik ürünler ya da sürdürülebilirlik ölçütlerini destekleyici bir biçimde geri dönüşümlü malzemelerden üretilmektedirler. Kompozit malzemeler, akustik malzemeler ve geri dönüşümlü malzemeler endüstriyel üretim sonucu farklı malzeme bileşenlerinden elde edilmektedir. Birim bileşenlerle oluşturulan blok malzemelerin ise bariyer performanslarının değerlendirilmesinde ise her bir birimin ve varsa; duvar yapımında kullanılan bağlayıcı malzemelerin nitelikleri etkili olur. **Doğal malzemeler** ise gürültü kontrolünün sağlanmasında çevresel ve estetik bir çözüm olarak kullanılmaktadır. Toprak dolgulu tepeler ya da bitki örtüsünden faydalanılarak gürültü kontrolü sağlanabilmektedir. **Doğal ve yapay malzeme uygulamalarına ek olarak**; doğal ve yapay malzeme kombinasyonları ile yapay malzemelerin akustik performansı ve doğal malzemelerin akustik, çevresel ve estetik özelliklerinden faydalanılarak bio-bariyer uygulamaları yapılmaktadır.

İçeriğin oluşturulmasında faydalanılan kaynaklarla ilgili düzenlemeler Tablo 3.7 üzerinde gösterilmiştir. Referans kaynaklarda belirtilmiş olan bariyer yapımında kullanılan malzemeler doğal malzemeler, yapay malzemeler ve bu malzemelerin kombinasyonları ile elde edilen bariyerler olarak ayrıştırılmış olup; bariyer malzemesinin tekil kullanımı ya da katman bileşenli yapısı dikkate alınarak sınıflandırılmıştır. Bariyer malzemelerinin sınıflandırılması ile ilgili olarak; ‘şeffaf malzeme’ başlığı bir malzeme türünü ifade etmediğinden, bu başlık kapsamındaki

‘akrilik malzemeler’, plastik malzemeler içeriğinde ele alınmış olup; diğer bir şeffaf malzeme türü olan ‘cam malzemeler’ için yeni bir içerik eklenmiştir.

Tablo 3.7. Bariyer tasarımında kullanılan malzemelerin sınıflandırılması

(Kotzen & English, 1999), (FHWA, 2000), (Klingner & diğerleri, 2003), (Ekici & Bougdah, 2003), (EPD, 2003), (Watts & Morgan, 2005), (Watts & Morgan, 2005), (Asdrubali F. , 2006), (Bjelić & diğerleri, 2012), (Garg & diğerleri, 2012), (CEDR, 2017)

Kaynak	Bariyer Tasarımında Kullanılan Malzemeler											
	Yapay Malzemeler								Doğal Malzemeler		Doğal ve Yapay Malzeme Kombinasyonu	
	Tek Bileşenli Malzemeler					Çok Bileşenli Malzemeler						
	Ahşap Malzemeler	Metal Malzemeler	Beton Malzemeler	Plastik Malzemeler	Cam Malzemeler	Blok Malzemeler	Kompozit Malzemeler	Akustik Malzemeler	Geri Dönüştürülmüş Malzemeler	Toprak Yığın Bariyerler	Bitkisel Bariyerler	Bio-Bariyerler
(Kotzen & English, 1999)	Ahşap Bariyerler	Metal Levha Bariyerler	Beton Bariyerler	Plastik, PVC, Fiberglass Bariyerler	Şeffaf Bariyerler	Blok Bariyerler				Toprak Yığın Bariyerler	Bitkilendirilmiş Bariyerler	Bio-Bariyerler
(FHWA, 2000)	Ahşap Bariyerler	Metal Bariyerler	Beton Bariyerler	Plastik Bariyerler	Şeffaf Bariyerler	Blok Bariyerler	Kompozit Bariyerler		Geri Dönüştürülmüş Kauçuk Malzeme			
(Klingner & diğerleri, 2003)	Ahşap Malzemeler	Çelik Malzemeler, Alüminyum Malzemeler	Beton ve Çimento Esaslı Malzemeler	Plastik Malzemeler		Blok Malzemeler						
(Ekici & Bougdah, 2003)										Toprak Dolgulu Bariyerler	Bitkilendirme	Bio-Bariyerler
(EPD, 2003)		Metal Bariyerler	Beton Bariyerler	Plastik Bariyerler	Şeffaf Bariyerler				Geri Dönüştürülmüş Malzemeler	Toprak Yığın Bariyerler		
(Watts & Morgan, 2005)									Geri Dönüştürülmüş Malzemeler	Toprak Dolgulu Bariyerler	Bitkisel Bariyerler	Vejetatif Bariyerler
(Asdrubali F. , 2006)									Geri Dönüştürülmüş Malzemeler			
(Bjelić & diğerleri, 2012)	Ahşap Bariyerler	Metal Bariyerler	Beton Bariyerler		Şeffaf Bariyerler					Toprak Yığın Bariyerler		
(Garg & diğerleri, 2012)	Ahşap Malzemeler	Çelik Malzemeler, Alüminyum Malzemeler	Beton Malzemeler	Polikarbon, Akrilik Malzemeler	Cam Malzemeler	Tuğla, Blok Malzemeler	Kompozit Malzemeler	Özel Yapım Akustik Paneller	Geri Dönüştürülmüş Malzemeler			
(CEDR, 2017)	Ahşap Bariyerler	Metal Bariyerler	Beton Bariyerler		Şeffaf Bariyerler	Gabion Bariyerler				Toprak Yığın Bariyerler		BioBariyerler Dikey Yeşil Sistemler

Bariyer tasarımında yapısal uygulamalar kapsamında kaynak derlemesi sonucunda oluşturulan içerikteki bariyer malzemeleri başlıkları aşağıda verilmektedir.

3.3.3.1. Ahşap malzemeler

Malzeme niteliği

Ahşap gürültü bariyerleri genellikle basınç koruyucu işlem görmüş kereste (kontrplak/plywood) ya da yapıştırılmış lamine ürünler ile yapılmıştır (FHWA, 2000).

Ahşap bariyerler, yansıtıcı ya da yutucu özellikte olabilirler. Yutuculuk özelliği ahşap yüzeyler arasına yerleştirilen ses yutucu malzeme katmanı ile sağlanır (CEDR, 2017). Genellikle dolu arka yüzey ve çıta uygulamalı ön yüzey arasına yutucu mineral yün malzeme yerleştirilerek inşa edilirler. İhtiyaç duyulduğunda kolayca sökülebilirler. Montaj elemanı olarak kullanılan bağlantılar, aşındırıcı olmayan paslanmaz çelik ya da alüminyum gibi reaksiyona girmeyecek metallerden yapılmalıdır (FHWA, 2000). Taşıyıcı olarak; beton, ahşap ya da çelik I profil dikmeler kullanılır. (Kotzen & English, 1999)

Tipik olarak, ahşap ya da çelik taşıyıcılara monte edilen ahşap şeritlerle ya da ön üretilmiş hazır panellerle (CEDR, 2017), ortalama 2-3 m. inşa edilirler ve 4-5 m.' ye kadar kullanılabilirler (Kotzen & English, 1999). Ahşap gürültü bariyerlerinde, malzemenin düşük kütlesi sebebi ile iletim kaybı elde edilmesi için fazla kalınlığa ihtiyaç duyulmaktadır. (Klingner & diğerleri, 2003)

Uygulama faktörleri

Ahşap malzemeler, görsel olarak doğal arka plana uyum sağlanacak alanlarda tercih edilebilirler (Kotzen & English, 1999).

Malzeme seçiminde; uygulanacak malzemelerin nitelikleri değerlendirilmiş olmalıdır. Ahşap; genleşme ve büzülme eğiliminde olan yapısı sebebi ile stabil boyutta bir malzeme değildir ve nem karşısında çürüme eğilimi gösterir (FHWA, 2000). Ahşap panel, plaka ya da kaplama malzemesi derzlerinde ses iletimini engellemek ve çürümeyi kontrol etmek için ekstra önlem gerekmekte; yüksek bakım maliyetleri içermektedir.

Derz boşluklarından ses iletiminin önlenmesi için ahşap malzeme; düz kesimli, geniş yüzeyli ve az sayıda düğüm noktası içeren panellerden seçilmelidir. Boyutsal stabilitenin sağlanması için kimyasal koruyucu uygulaması yapılmış ve fırınlanmış

olmalıdır. Ahşap paneller arası boşlukların uygulamada tamamen kapatılması gerekmektedir. (FHWA, 2000)

Bariyer yapımında kullanılacak ahşap malzemenin işlenmiş ve böylelikle çürümeye karşı dayanıklı mukavemetli bir yapıya ulaşmış olması gerekmektedir (Klingner & diğerleri, 2003). Nem karşısında çürümenin engellenmesi için ahşap malzemeye kimyasal koruyucu madde uygulamaları yapılmalıdır. Ahşap panel üzerinde yapılan kesimler ile açıkta kalan işlem görmemiş korumasız iç yüzeyler çürümeye ve böceklenmeye açık olduğundan, uygulama sonrası koruyucu solüsyonla kaplanmalıdır. Taşıyıcı konstrüksiyon ve ahşap panel bağlantısı tutkal ile yapılacaksa tutkal içeriği ve kimyasal koruyucu etkileşimi göz önüne alınmalıdır. Çürümeye karşı ahşap yüzey üzerine uygulanan kimyasal koruyucunun ahşabın içine nüfus etmesi beklenmeli ve ahşap plaka üzerinde nem testi uygulanmalıdır. (FHWA, 2000)

Malzeme performansı

Bariyer performansı kullanılan ağaç ürününün özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Kullanılabilecek bazı ağaçlar; köknar, çam, ladin, kavak türleridir (FHWA, 2000). Bazı ahşap malzemelerin performans değerleri Tablo 3.8 üzerinde verilmiştir.

Tablo 3.8. Farklı ahşap malzemelerin ses iletim kaybı değerleri
(EPD, 2003)

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kütle Ağırlığı (kg/m ²)	İletim Kaybı (dB)
Ahşap	25	18	21
Kontrplak	13	8.3	20
Kontrplak	25	16.1	23

3.3.3.2. Metal malzemeler

Malzeme niteliği

Metal gürültü bariyerleri yapımında; çelik, alüminyum ya da paslanmaz çelik malzeme kullanılmaktadır. Çelik, yapımında kullanılan metallerin en ucuz ve en yaygın olanıdır. İstenilen fiziksel özelliklere bağlı olarak değişen oranlarda demir, karbon ve az miktarda başka metallerden oluşan bir karışımdan oluşur. Çelik paneller ya da

taşıyıcılar genellikle; plastisoller, bağlı tozlar, emaye boyalar veya galvanizleme malzemesi ile kaplanmış veya kendiliğinden koruyucu bir ayrışma çeliği olarak üretilmiştir. Alüminyum genellikle boksitten yapılmış hafif bir alaşımdır ve tipik olarak bir bağlanmış toz, emaye boyalar veya anodize ile kaplanır. Galvaniz kaplamalarla uyumlu değildir. Paslanmaz çelik, oldukça dayanıklı ve korozyona dayanıklı metal bir alaşımdır. Değişken oranlarda çelik karbon, nikel ve krom karışımıdır. Bu malzeme neredeyse korozyona dayanıklı olduğundan, yüzeyin kaplanması gerekmez. (FHWA, 2000)

Metal levha bariyerler yansıtıcı ya da yutucu özellikte olabilirler. Yutuculuk özelliği olan metal bariyerlere; delikli metal ön panel ve boşluksuz çelik ya da alüminyum arka panel kullanılarak tasarlanmışlardır ve paneller arası mineral yün veya diğer bir ses yutucu malzeme ile doldurulmuştur (Kotzen & English, 1999). Bir taraftaki metal tabaka gürültünün içerideki emici madde ile etkileşmesine izin vermek için delikli olabilir ve oluklu profil yapısal sağlamlık sağlar (EPD, 2003).

Tipik olarak metal taşıyıcılar ile desteklenerek inşa edilirler (CEDR, 2017). Ön yüzeyde kullanılan profil malzeme ile panel mukavemeti ve kolonlar arası açıklık arttırılmaktadır; alüminyum malzeme daha hafif olduğundan ve paslanmadığından çelik malzemeye tercih edilmektedir (Kotzen & English, 1999). Alüminyum büyük paneller daha az destekle (5 metreye kadar) kolayca monte edilebilirler (EPD, 2003). Metal gürültü bariyeri panelleri tipik olarak 18-22 mm. kalınlık aralığındadır. (FHWA, 2000) Çoğu metal kaplama malzemesi, tipik gürültü bariyeri spesifikasyonlarında gereken tipik minimum panel ağırlığı ve / veya ses iletim sınıfını karşılamaz. Panel malzemesine oluk formlarının eklenmesi ile malzemenin ses iletim sınıfı geliştirilebilir. (FHWA, 2000)

Uygulama faktörleri

Metal malzemeler her türlü alanda uygulanabilirler; hafif ağırlıklarından dolayı mevcut duvarlar üzerine ya da köprü yapılarına monte edilmesinde özellikle yararlı olmasını sağlayan ağırlık avantajına sahiptir (FHWA, 2000). Metal bariyer konstrüksiyon sistemi ile eğimli yüzeyler tasarlanabilir, bariyer eğik düzlem olarak konumlandırılabilir ve istenilen yükseklikte uygulama yapılabilir. Metalik yüzeylerin tasarımı; renk ve malzemeler düzenlemeleriyle ile renklendirilebilir, bitkisel materyal ve şeffaf yüzeyler ile bariyer desteklenebilir ya da form düzenlemelerinden

faaydalanılabılır. (Kotzen & English, 1999) Paneller farklı renklerde üretilebildiğinden bu tip elemanlar estetik faydalar sunar. Bariyerler yüzeylerine dijital baskı yapılabilir; böylece bariyerin görünümünü ve gürültü bariyeri tarafından korunan hem sürücüler hem de taraflar için algıyı tamamen değıştirme kapsamı sunar. (CEDR, 2017)

Malzeme seçiminde; uygulanacak malzemelerin nitelikleri değerdendirilmiş olmalıdır. Metal panellerin; aşırı neme, yüksek sıcaklıklara ve sert ışık koşullarına nasıl dayanabileceğı hakkında gerekli kontroller yapılmalı ve bariyer yüzeyinin, gürültü bariyeri işlevinin gerektirdiğı güvenlik dayanımı sağlanmalıdır.

Metal malzeme, ek bir işlemten geçirilmediğinde korozyona uğramaktadır. Metal yüzeylerin nem ve tuz etkisi ile paslanma karşısındaki davranışları incelenmelidir. Galvanize ya da paslanmaz çelik uygulamalarıyla ya da alüminyum malzeme kullanımıyla neme karşı koruma sağlanmış olur. Galvaniz, boyalı, püskürtme veya daldırma olup olmadığı kaplama kalınlığı, dayanıklılığı sağlamak için doğrulanmalıdır (FHWA, 2000). Tüm kesim ve bağlantı noktaları koruma altına alınmalıdır (Klingner & diğderleri, 2003).

Panel, profiller, boyut ve ölçü doğrulanmalıdır, çünkü tasarım planlarında belirtilenlerden sapma, gürültü bariyer sisteminin yapısal sağlamlığını, dayanıklılığını ve performansını etkileyecektir. Birbiriyle temas eden farklı metallerin birbirlerini olumsuz yönde etkilememesine özen gösterilmelidir, özellikle alüminyum çelikle temas ettiğinde kısa bir sürede parçalanır. Malzemelerin gevreklik, sertlik ve çekme dayanımı uygun standartlarla olmalıdır. Rüzgâr yükü dayanımı önemlidir ve bu gerekliliğın yerine getirilmesi için malzeme üzerinde sertleştirme uygulamaları gerekebilir. Düşük kalınlıklı yapıları nedeniyle; vandalizm, enkaz, hatalı taşıtlar, kar küreme operasyonları ve diğder bakım ekipmanlarından kaynaklanan hasarlara karşı duyarlıdırlar. Bu nedenle, panelin kalınlığına, oluklar yoluyla elde edilebilecek yapısal dayanıma ve monte edildikleri karayoluna olan mesafeye dikkat edilmelidir. (FHWA, 2000)

Tüm metal engeller, karşıt ışık kaynaklarından parlamaya karşı hassastır. Aynı zamansa panellerin güneşten ısınması sebebiyle metal bariyerler ile bitkisel materyalin birlikte kullanımında, bitkiler için uygun yetiştirme ortamı oluşmamış olur. Tüm metaller elektriksel olarak iletken olduklarından, tüm metal bileşenler uygun şekilde topraklanamadığı sürece, güç kablolarının yakınında metal gürültü bariyer duvarlarının montajından kaçınılmalıdır. (FHWA, 2000)

Malzeme performansı

Bariyer performansı kullanılan metal ürününün özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Bazı metal malzemelerin performans değerleri Tablo 3.9 üzerinde verilmiştir.

Tablo 3.9. Farklı metal malzemelerin ses iletim kaybı değerleri
(EPD, 2003)

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kütle Ağırlığı (kg/m ²)	İletim Kaybı (dB)
Çelik, 18 ga	1.27	9.8	25
Çelik, 20 ga	0.95	7.3	22
Çelik, 22 ga	0.79	6.1	20
Çelik, 24 ga	0.64	4.9	18
Aluminyum Levha	1.59	4.4	23
Aluminyum Levha	3.18	8.8	25
Aluminyum Levha	6.35	17.1	27
Metal levha ile desteklenen polyester film ile emici paneller	50 – 125	20 – 30	30 – 47

3.3.3.3. Beton malzemeler

Malzeme niteliği

Beton; çimento, agrega ve suyun bir araya getirilmesiyle elde edilen bir karışımdır ve ayrıca kürlenme oranını, hava sürüklenmesini, kuvveti, akışkanlığı ve poroziteyi değiştirmek için özel katkı maddeleri içerebilir (FHWA, 2000). Beton ve portland çimentosu bazlı malzemeler, prekast ve yerinde döküm elemanları olarak, karayolu gürültü bariyerlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (EPD, 2003). Yerinde döküm yapılabilir ya da prekast elemanlar olarak kullanılabilir. Yerinde döküm işlemleri için, normalde yerinde beton kamyonu ile önceden karıştırılmış beton teslim edilir, ancak küçük miktarlar için yerinde karıştırılabilir. Yerinde döküm işlemlerde, içerikte kullanılan su miktarının değişkenliğine göre; kuru ve ıslak döküm olmak üzere iki çeşit beton vardır. Islak döküm betonunda; karışımdaki tüm bileşenler arasında uygun kimyasal reaksiyonun sağlanmasına ve aralarında yeterli derecede güçlü bir bağ oluşmasına izin verecek kadar nem içerir. Beton karışım, 8 saat kalıpta kurumaya bırakılmalıdır. Kuru döküme göre daha akışkan kıvamdaki bu karışım daha iyi şekle girmektedir. Kuru döküm betonunda ise; karışım önemli ölçüde daha az su içerir ve

sadece karışımın bir kalıba sıkıştırıldıktan sonra şeklini koruyabilmesi için yeterlidir. Bu, dökme işleminden sonra ürünün kalıptan hemen çıkarılmasını sağlar. Daha sonra ürün, kürleme işlemi sırasında buharın girmesiyle hidratlanır. Islak dökme beton kadar akışkan olmadığından ince yüzey detayı gerektiren paneller için uygun değildir. Bu tip karışım tipik olarak ıslak döküm karışımına göre üstün mukavemet özelliklerine sahiptir. Prekast ürünler ise genellikle ihtiyacı karşılamak için yeterli standartları sağlayabilen hesaplanabilir içeriğe sahiptir. (FHWA, 2000)

Beton bariyerler yutucu ve yansıtıcı olmak üzere iki ayrı grupta hizmet verirler. Yansıtıcı özellikte beton bariyerler; yerinde döküm ya da betonarme temel üzerine oturan I profil çelik veya beton dikmelerin arasına yerleştirilen beton panellerle inşa edilebilirler. Birleşim kesitleri, ses geçişini engellemek için kauçuk malzeme ile yalıtılmaktadır. Bu sistemler yatayda da profil atılarak 10 m ve üzeri yükseklikte inşa edilebilir. Sistem kesintisiz bariyerler oluşturmaya olanak sağlamaktadır. Yutucu özellikte beton bariyerler; ağaç lifi ya da taneli agrega bileşenleri ile imal edilebilir. Her iki tip de prefabrik paneller olarak imal edilir ve çelik kolonlar arasına monte edilir. Paneller bir ya da iki yüzeyinin de yutucu özellik göstermesine bağlı olarak, 4-5 m uzunluğunda ve 140-190 mm kalınlığındadır. Tek taraflı bir panelin kalınlığı 2:3 oranında yutucu, 1:3 oranında ise katı beton olarak üretilir. (Kotzen & English, 1999)

Yerinde döküm betonu donatı çeliğinin etrafına yerleştirmek ve sabitleme işlemleri için gereken alan gereksinimi nedeniyle minimum duvar kalınlığı yaklaşık 150 ila 200 mm'dir. Prekast panel ebatları, nakliye sınırlamaları nedeniyle tipik olarak bir yönde yaklaşık 4,5 m ile sınırlandırılır, taşıma için ebat ve ağırlıktan başka uzunluk sınırlaması yoktur. Asgari kalınlık genellikle, takviye çubukları veya ağ üzerinde gerekli beton örtüsünün miktarıyla ilişkilidir, ancak takviye ve herhangi bir yüzey dokusunu mümkün kılmak için tipik olarak yaklaşık 100 mm artı toplam 25 mm'dir. (FHWA, 2000) Beton malzelerin, akustik etkinliği sağlamak için imalat için minimum kalınlıkları genellikle yeterlidir (EPD, 2003).

Uygulama faktörleri

Beton elemanlar; taşıyıcı, panel, temek, tepe profili, istinat duvarı vb. işlevleri karşılayabilir ve farklı şekil ve ebatlarda üretilebilir. Yerinde dökme betonlar tasarım esnekliği ve yüksek yapısal dayanıma sahip olduklarında köprü, istinat duvarı vb. yapılarda tercih edilirler. Beton ürünler her türlü iklim koşuluna uygundur (FHWA,

2000) ve bakım maliyetleri genellikle düşüktür (EPD, 2003). Beton bariyer yüzeylerine farklı doku uygulamaları yapılabilir, beton karışımının içine pigmentler karıştırılmasıyla paneller renklendirilebilir, malzemeye farklı şekiller verilebilir (Bendtsen, 2009). Yıpranmış ahşap tahtalardan kaya yüzüne, taş bloklara, neredeyse düşünülebilecek herhangi bir oymalı duvar konusuna kadar her şeyin görünümünü alabilen, şekillendirilebilen, kalıplanabilen ve dokunabilen çok yönlü bir malzemedir (FHWA, 2000). Bitkilendirme sistemleri için üretilen beton modüller halinde kullanılabilirler (Bendtsen, 2009).

Malzeme seçiminde; uygulanacak malzemelerin nitelikleri değerlendirilmiş olmalıdır ve tercihler kullanılacak alana göre belirlenmelidir. Örneğin; kuzey bölgelerinde donma / çözülme ve tuz ölçeklenme direnci kritiktir; güney veya daha sıcak iklimlerde, genişleme katsayıları ve uygun kür uygulamaları daha önemlidir; kıyı bölgelerinde, vurgu, tuz yüklü nemin içeri girmesini engellemeye yardımcı olacak yoğunlukta olacaktır (FHWA, 2000).

Beton bazlı bariyerlerde; doymun haldeyken sıcaklık değişimine bağı donma-çözölme tehdidine karşı bariyerin, tuz miktarı ve donma-çözölme koşullarına karşı direnci test edilmelidir (Klingner & diğerleri, 2003). Islak beton döküm için; sertliği belirleyen çökme testi ve donma ve çözölme koşullarını belirleyen hava testi, kuru beton döküm için; şekil ve boyutu belirlemek için hava boşluğu testi, tüm beton uygulamaları için; dayanımı belirleyen basınç testi, sertliğini belirleyen donma-çözölme testi, içeriğini belirleyen yoğunluk testi ve nem karşısındaki davranışını belirleyen su emme testi yapılmış olmalıdır (FHWA, 2000).

Malzeme performansı

Bariyer performansı kullanılan beton ürününün özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Bazı beton malzemelerin performans değerleri Tablo 3.10 üzerinde verilmiştir.

Tablo 3.10. Farklı beton malzemelerin ses iletim kaybı değerleri
(EPD, 2003)

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kütle Ağırlığı (kg/m ²)	İletim Kaybı (dB)
Yoğun Beton	100	244	40
Hafif Beton	150	244	39
Hafif Beton	100	161	36

3.3.3.4. Plastik malzemeler

Malzeme niteliği

Polietilen, PVC gibi bariyer malzemesi olarak kullanılabilirler çeşitli plastik malzeme türleri vardır (FHWA, 2000). Genellikle cam elyafı (fiberglass) ile güçlendirilmiş paneller olarak üretilirler (CEDR, 2017). Aynı zamanda akrilik ya da polikarbonat gibi plastik plakaların dikey taşıyıcılar arasına yerleştirilmesi ile şeffaf plastik bariyerler elde edilebilir (FHWA, 2000).

Plastik paneller yansıtıcı ya da yutucu özellikte olabilirler. Ses yutucu plastik bariyerlerde, ön yüzündeki panellerin delinmesiyle yutuculuk özelliği sağlanmış olur (CEDR, 2017). Bu endüstriyel ürünler çok yönlü boyutsal düzenlemelere olanak tanır. Plaka kalınlıkları üretici firmaya göre değişiklik göstermesi ile birlikte akrilik ve polikarbonat için genellikle 15-20 mm'dir. Akrilik levha; 9 m yüksekliğe kadar üretilir, yerinde kesilip işlenebilir, bükülebilir, mukavemet kazandırılabilir, geniş açıklıklar geçilebilir ve bariyer tepesinde bir yatay taşıyıcıya gerek duyulmadan konumlandırılabilir ve çok renkli üretilir. (Kotzen & English, 1999) Şeffaflığı arttırmak için geniş açıklıklı taşıyıcılar arasına büyük panel uygulamaları tercih edilebilir, şeffaf plastik malzemeler 5 m.' den daha büyük uzunluklarda kullanılabilir. (FHWA, 2000).

Uygulama faktörleri

Plastik malzemeler, her durumda uygulanabilir ve hafif özellikleri sebebi ile istenilen yapıya monte edilebilirler. Plastik ürünler istenilen formda kalıplanabilir, istenilen yapı malzemesinin görünümü ve performansını sağlayabilir ve çoğu geri dönüştürülebilir. (FHWA, 2000) PVC'den yapılmış çelik ya da alüminyum gibi görünen gürültü bariyeri örnekleri mevcuttur. Plastik geri dönüşümünün artması ve fiyatlandırmalarındaki opsiyonel düzenlemeler, sistemin yangın kullanımını sağlamıştır. Görüşelliğin sürekliliğinin sağlanması için şeffaf yüzeyler ile birlikte kurgulanabilir (Kotzen & English, 1999), şeffaf özellikte imal edilebilirler. Şekillendirilebilen formları itibari ile bitkilendirilmiş sistemleri desteklemek için kullanılmaktadırlar (EPD, 2003).

Malzeme seçiminde; uygulanacak malzemelerin nitelikleri değerlendirilmiş olmalıdır. Plastik malzemeler; boyanma, çizilme, yanma gibi olaylar karşısında hassas yüzey yapısına sahiplerdir. Hızlı sıcaklık değişimlerine karşı boyut değişimi

gösterebilirler. Esnek yapılarına rağmen UV etkisi ile zamanla kırılğan yapıya gelebilirler. (FHWA, 2000)

Şeffaflığın mutlak olarak gerekli görüldüğü durumlarda şeffaf plastikler zamanla matlaştığından dezavantajlıdır. Uzun süre güneş ışığına maruz kalan şeffaf plastikler, saydamlıklarının yitirerek; opak, puslu ve renksiz olacaktırlar. Plastik levhalar uygulanan güç karşısında çizilir. Yeni uygulamalarla bu malzeme de 10 yıl ışık geçirgenliği garantili üretilmeye başlamıştır. Ancak şeffaf bariyerlerin hava değişimlerinden etkilendikleri ve şeffaflıklarını bu nedenle kesintisiz olarak sağlayamadıkları dikkate alınmalıdır. Uygun malzeme seçiminde bu faktörler dikkate alınmalıdır. (Kotzen & English, 1999)

Ultraviyole ışınları; pigmentlerin ve yüzey görünümünün ve malzeme mukavemetinin bozulmasına neden olur önlem olarak malzeme içeriğine ultraviyole koruması eklenebilir. (FHWA, 2000) Plastik malzemelerin güneş ışınlarına karşı dayanımı yüksek olmalıdır. Bu malzemeler için uygulanan testlerde malzemeler ultraviyole ışığa maruz bırakıldıktan sonra; bozulma, solma, ufalanma, çatlama ya da gevreme tepkileri gözlenmektedir. (Klingner & diğerleri, 2003)

Malzeme performansı

Bu endüstriyel ürünler çok yönlü performans düzenlemelerine olanak tanır (Kotzen & English, 1999). Aşağıdaki tabloda referans olarak şeffaf plastik malzemelerin ses iletim kaybı değerleri verilmiştir. (Tablo 3.11)

Tablo 3.11. Farklı şeffaf plastik malzemelerin ses iletim kaybı değerleri
(EPD, 2003)

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kütle Ağırlığı (kg/m ²)	İletim Kaybı (dB)
Polikarbonat	8 – 12	10 – 14	30 – 33
Akrilik	15	18	32

3.3.3.5. Cam malzemeler

Malzeme niteliği

Bariyer uygulamalarında; lamine edilmiş, sertleştirilmiş veya güçlendirilmiş cam malzemeler kullanılabilir. Bu malzemeler arasındaki farkı belirli bir mesafeden ayırt

etmek çok zordur. Cam paneller genellikle tek temperli veya lamine temperli cam tabakalardan yapılır. Camın temperlenmesi, camı kuvvetlendiren, çok daha kırılmaz bir ürün üreten ısıtma işlemidir. Darbe aldığı anda cam kırılmaz ve 12 mm'den daha büyük olmayan parçalar ile küçük ve tanecikli görünüm oluşur. Temperlemeye ek olarak, cam paneller de lamine edilebilir. Bu tip cam panel, şeffaf lastik tipte esnek bir örtünün iki tarafına da iki adet temperli cam yaprak yapıştırılarak üretilir. Bu tip cam panel paramparça olduğunda, cam, parçaların tabakaya yapışmaya devam edeceği küçük tanecik benzeri parçalar halinde kırılır. (FHWA, 2000)

Plaka kalınlığı cam için 8-19 mm'dir. Plaka boyutları üreticiye göre değişmektedir. Cam levhalarda yükseklik şeffaf plastik malzemelere göre daha azdır, formun elde edilebilmesi için yüksek maliyet ile özel döküm yaptırılabilir ya da düzlemsel cam levhalar istenilen formun verilmesi için açılı olarak birleştirilebilir. Levha olarak kullanılabileceği gibi blok olarak da şekillendirebilirler. Cam levhanın dekorasyonu için cama az miktarda renk verilebilir ya da kazınarak işlenebilir. (Kotzen & English, 1999) Büyük uzunluklarda imal edilmeleri nakliye ve montaj süreçlerinde dezavantajlıdır. Aynı zamanda panel boyutları arttıkça panel kalınlığı ve dolayısıyla ağırlığı ve maliyeti artmaktadır. (FHWA, 2000)

Uygulama faktörleri

Şeffaflık, görsel nötrlükleri sebebi ile algıyı kesintiye uğratmadığından; aydınlık gereksinimi, trafik kontrolü, manzara seyri ve insanları görünür hale getirdiğinden saldırı vb. etkilere karşı güvenlik için önemlidir (FHWA, 2000). Kırsal bir alanda izlenmesi istenen bir yol manzarasının görünmesi, kavşak dönüşlerinde görüşün sürekliliğini korunması ya da bir opak bariyerin duvar etkisinin ortadan kaldırılması için kullanılabilir (Bendtsen, 2009). Alıcı tarafındaki istenmeyen gölgelerin azaltılması ihtiyacını karşılayabilir (CEDR, 2017). Şeffaf malzeme kullanımı, gürültü bariyerinin kapalı etkisini ortadan kaldırmak için etkili bir çözümdür. Ancak kaynağı görünmeyen bir gürültünün, görünür kaynaklardan gelen gürültüye göre daha az sinir bozucu olduğu gösterilmiştir (Thompson & Sorvig, 2008).

Renterghem; gürültü kaynağı görünürlüğünün gürültü algısı üzerindeki etkilerini incelenmiş ve üç mekanizma kapsamında mevcut araştırmaları analiz etmiş olduğu çalışmada; kaynak görünürlüğü ve çevresel gürültü algısı arasındaki etkileşimin görsel-işitsel uyum ve dikkat odaklama konuları ile ilgili olduğunu, kaynağın

gizlenmesinin ve böylece gürültü kaynağına odaklanmanın önlenmesinin ses basınç düzeyleri nispeten düşük olduğunda uygun görüldüğünü ve yüksek ses düzeylerinde görsel-işitsel uyumun sağlanması ve kaynağın gizlenmesinden kaçınılması gerektiği belirtmiştir. (Renterghem T. V., 2018) Görsel-işitsel uyumun sağlanması için şeffaf bariyer kullanımının avantajlı olduğu durumlar değerlendirilmelidir.

Malzeme seçiminde; uygulanacak malzemelerin nitelikleri değerlendirilmiş olmalıdır. Şeffaf bariyerlerde darbe direnci önemli bir faktördür. Malzeme dayanımının sağlanması için, kırılmaya neden olabilecek düzensiz basınç noktalarından kaçınılmalıdır. (FHWA, 2000) Cam tabaka uygulanan güç karşısında kırılır. Şeffaflığın mutlak olarak gerekli görüldüğü durumlarda cam malzeme matlaşma eğilimi göstermediğinden, şeffaf plastik malzemelere kıyasla avantajlıdır. Tamamen şeffaf görünümün korunması gereken ve sürekli ışık geçirgenliğine ihtiyaç duyulan alanlarda da ömrü boyunca ışık geçirgenliği sağladığından sertleştirilmiş cam bariyer kullanılması tercih edilmelidir. (Kotzen & English, 1999) Cam plakalar güneş ışığından etkilenmezler. Boyanma, çizilme, yanma gibi olaylar karşısında da hassas yüzey yapısına sahiplerdir. Kirlenme durumuna karşı düzenli olarak yıkanmaları gerekir. (FHWA, 2000)

Malzeme performansı

Bariyer performansı kullanılan şeffaf ürününün özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Bazı şeffaf malzemelerin performans değerleri Tablo 3.12 üzerinde verilmiştir.

Tablo 3.12. Cam malzemenin ses iletim kaybı değeri

(Ders Notları, 2016)

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kütle Ağırlığı (kg/m ²)	İletim Kaybı (dB)
Cam	4	10	24,5

3.3.3.6. Blok malzemeler

Malzeme niteliği

Tuğla, gazbeton gibi yapı elemanları kullanılarak oluşturulan gürültü bariyeri duvarlarıdır (FHWA, 2000). Büyük taşlarla dolu metal kafes modüllerinin üst üste

konmasıyla oluşturulan gabion duvarlarla da inşa edilebilirler (CEDR, 2017). Bu kapsamda blok bariyerler; birim bileşenler ile üretilmiş (tuğla blokları, gazbeton blokları vb.) bariyerler olarak tanımlanabilirler. Tuğla mukavemetini ve dayanıklılığını arttırmak için bir fırında pişirilen bir kil ve kum karışımı kullanılarak üretilir. Beton bloklar ise kuru döküm beton karışımı kullanılarak üretilmiştir. (FHWA, 2000) Gabion duvarlar kalınlıkları nedeniyle ses iletim kaybının sağlanmasını ve düzensiz yüzey yapıları nedeniyle ses yansımalarını sağlarlar. Akustik performansları taşlar arası boşluklarla azalır, bu nedenle duvar içine ses yutucu bir çekirdek yerleştirilerek duvara yutuculuk özelliği kazandırılabilir. (CEDR, 2017)

Yansıtıcı bariyerler oluşturmak için katı bloklar; yutucu bariyerler oluşturmak için ise delikli bloklar kullanılmaktadır. Bu yapım sistemi aynı zamanda kesintisiz bariyerler uygulamalarında işlevsel ya da estetik olarak kullanılabilir. (Kotzen & English, 1999) Takviye taşıyıcılar ile desteklendiğinde istenilen yükseklik ve uzunlukta oluşturulabilirler. Duvar kalınlığı blok boyutlarına göre belirlenmektedir.

Uygulama faktörleri

Blok tipi üretim, duvarcılıkta geleneksel bir yöntem olduğundan sıklıkla tercih edilir (Klingner & diğerleri, 2003). İnşaat mühendisliği yapılarında ve yol yapımı uygulamalarında istinat yapıları olarak da kullanılabilirler (CEDR, 2017). Bloklar elle ya da makine ile döşenebilirler. Bloklar 6 dereceye kadar olan seviyelenmelerde formu bozmadan inşa edilebilirler. Tercihen mevcut duvarlar üzerinde kaplama malzemesi olarak kullanılabilirler. (FHWA, 2000)

Bir blok duvar; harç, derz ve blok elemanlarından oluşmaktadır. Her bir birimin duvar dayanımını sağlayacak standartta uygulanmış olması gerekmektedir. Tüm duvar yapıları beton temel yapımı gerektirmektedir ve duvar yüzeyinin temele sabitlenmesi gerekmektedir. Yatay ve dikeyde takviye taşıyıcılar ile desteklenmelidir. Bloklar arasındaki yapıştırma harcı buz ve çözücü tuzlarla temas ettiğinde bozunacaktır. Bu nedenle harç bileşenlerinin dayanımı sağlanmış olmalıdır. Blokların basınç dayanımı test edilmelidir. Duvar bağlayıcı harcın yanal kuvvetleri karşılayacak dayanımda olması gerekmektedir. (FHWA, 2000)

Malzeme performansı

Bariyer performansı kullanılan duvar bileşenlerinin özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Bazı blok malzemelerin performans değerleri Tablo 3.13 üzerinde verilmiştir.

Tablo 3.13. *Farklı blok malzemelerin ses iletim kaybı değerleri*
(EPD, 2003)

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kütle Ağırlığı (kg/m ²)	İletim Kaybı (dB)
Beton Blok	200	151	34
Tuğla	150	288	40

3.3.3.7. Kompozit malzemeler

Ürün niteliği

Kompozit gürültü bariyeri malzemeleri, genel anlamda, iki veya daha fazla birincil malzemeden oluşan herhangi bir ürün (Fiberglas bir yüzeye sahip kontrplak veya beton ile karıştırılmış ve daha sonra beton üzerine kaplanmış ahşap gibi) olarak tanımlanabilir. (FHWA, 2000). Endüstriyel üretim sonucu elde edilen bu ürünler; farklı yüzey özelliklerinin sağlanmasına ve çok yönlü boyutsal düzenlemelere olanak tanır.

Üretim faktörleri

Çok yönlü performans düzenlemelerine olanak tanıyan kompozit malzemeler çok katmanlı olup, her bir bileşenin davranış faktörleri kapsamında ihtiyaca yönelik olarak üretilir ve tüm şartlarda uygulanabilirler. Bu nedenle; kompozit malzeme katmanlarındaki tüm bileşen performanslarının doğrulamasının yapılması önemlidir. Boyut, mukavemet, yanmazlık, dayanım, yapışma yüzeyi, kaplama yüzeyi, donma-çözünme davranışı, fiziksel stabilite ve bariyer performansı test edilmelidir. (FHWA, 2000)

Ürün performansı

Kompozit ürün tasarımında katmanlaştırılan temel malzemeler, final ürünün performans, dayanıklılık ve bazı durumlarda güvenlik özelliklerini değiştirecektir.

Kompozit yapı içinde kullanılan malzeme katmanlarının her birinin performansının değerlendirilmesi önemlidir. (FHWA, 2000)

Kompozit ürünler ile ilgili firma ve ürün araştırmaları yapılmış; firma bilgisi, ürün adı, ürün özellikleri, ürün görselleri ve akustik performans dökümanları derlenerek tablolaştırılmıştır (Bkz. Ek 1 Bazı Dış Mekan Kullanımlı Kompozit Malzemelerin Performans Değerleri). Bu kapsamda bazı firma ürünleri doğrultusunda hazırlanan performans değerleri Tablo 3.14 üzerinde verilmiştir.

Tablo 3.14. Farklı kompozit malzemelerin ses iletim kaybı değerleri

Ürün		Ses İletim Kaybı (dB)						
Açıklama	Kalınlık (mm)	125	250	500	1000	2000	4000	Ort.
Kompozit panel	50	~ 20	~ 25	~ 28	~ 28	~ 25		29
Vinil kaplı polyester kompozit örtü	50	14	20	32	41	42	41	33
Cam takviyeli polimer panel	22							17
Vinil kaplı polyester kompozit örtü	50	15	17	28	40	45	52	29

3.3.3.8. Geri dönüşümlü malzemeler

Ürün niteliği

Atık kauçuk, metal talaşı, plastik, tekstil ürünleri gibi geri dönüştürülmüş birçok malzeme; akustik malzemeleri hazırlamak için kullanılabilirler (Asdrubali F. , 2006). Kullanılmayan lastik ve kauçuk üretiminden çıkan malzemelerin geri dönüşümü ile elde edilebilirler (FHWA, 2000).

Norveç'te gürültü bariyerleri üzerinden yürütülen bir çalışmaya göre; beton bariyer üzerinde taş agrega yerine kullanılan parçalanmış lastiklerin gürültü azalmasında daha düşük sonuç verdiği belirtilmiştir; ancak geri dönüşüm etkisi dikkate alındığında bu malzeme tercihinin avantajları da vardır (Watts & Morgan, 2005). Gürültü kontrolünde, plastik elyaflar ve kauçuk paspaslar gibi geri dönüştürülmüş malzemeler, daha düşük atık üretimine ve ham madde kullanımına katkıda bulundukları için sürdürülebilir bir alternatif olarak görülebilir. Bununla birlikte, doğal veya geri dönüştürülmüş bir malzemenin sürdürülebilirliğini değerlendirmek ve üretim sürecinde toplam enerji kullanımını doğrulamak çok önemlidir. (Asdrubali F. , 2006)

Üretim faktörleri

Bir bariyerde; destek yapısı olarak geri dönüştürülmüş plastikler, yutucu eleman olarak endüstriyel işlemlerden çıkan atık maddeler, bitki dikim ortamı olarak eski lastiklerin bölümleri, bitki yetiştirme ortamı için gübre haline dönüştürülen evsel atıklar kullanılabilir (EPD, 2003). Geri dönüşümlü malzeme üretiminde; malzemenin teknik özellikleri hakkında bilgi sağlanması ve özelliklerinin değerlendirilmesi ile ilgili olarak proje çalışmalarının geliştirilmesi gerekmektedir (Watts & Morgan, 2005). İstenen performansları elde etmek için farklı granül yapısındaki geri dönüştürülmüş çeşitli malzemelerini karıştırmak faydalı olabilir; bu gibi durumlarda uygun oranda bir bağlayıcı veya yapıştırıcı eklenmelidir. (Asdrubali F. , 2006) Bağlayıcı malzemelerin tüm içerikle uyumlu çalışması gerekir; çimento kullanılıyorsa, lastik yüzeyi hem kauçuk hem de betonla uyumlu bir yapıştırıcı madde ile işlem görmelidir (FHWA, 2000). Örneğin; kauçuk; geniş bant emme spektrumuna sahip iyi akustik malzemelerdir ve dayanıklılıkları nedeniyle trafik gürültüsü bariyerleri için özellikle uygundur (Asdrubali F. , 2006). Ancak, kauçuk malzeme tek başına bir gürültü panelinin yapısal bileşeni olarak kabul edilecek stabiliteye sahip olmadığından; bağlayıcı elementler ile mukavemetleri artırılabilir. Agregat bileşenleri yerine artık kauçuk kullanımı ile yapılan karışımda, beton bağlayıcı bir malzeme olarak kullanılabilir. Farklı kombinasyonlarda katmanlaşmış malzeme üretimi yapılabilmektedir. (FHWA, 2000)

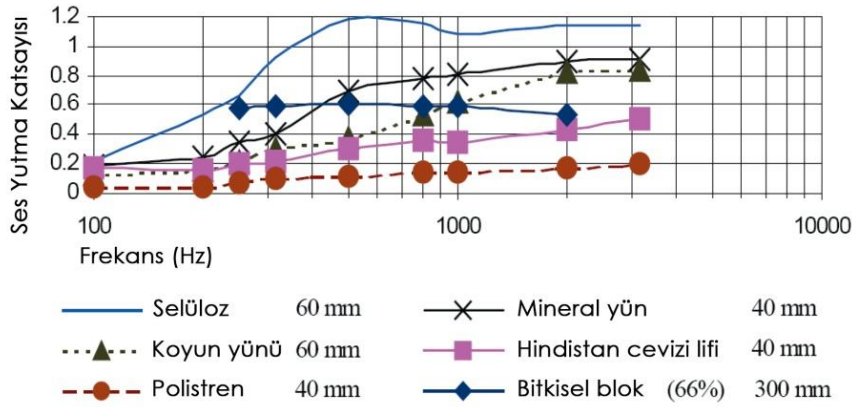
Ürün performansı

Endüstriyel üretim sonucu elde edilen bu ürünler; malzeme özelliklerine göre farklı etkinliklere ve düzenlenebilir performans değerlerine sahiptirler.

Gürültü kontrolünde; cam, taşıyıcı gibi geleneksel malzemeler, pamuk, selüloz, kenevir, yün, kil gibi doğal malzemeler ya da kauçuk, plastik, halı, mantar gibi geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılabilir (Asdrubali F. , 2007). Asdrubali'nin gürültü kontrolü için yeni sürdürülebilir malzemelerin akustik özellikleri üzerine yapmış olduğu araştırma kapsamında çalıştığı; gürültü kontrolünde geri dönüşümlü malzeme etkinliğinin belirlenebilmesi için, bazı ses yutucu malzemelerin, geri dönüşümlü malzeme performans değerleri ile karşılaştırılması Grafik 3.11 üzerinde verilmiştir.

Grafik 3.11. Farklı geri dönüşümlü malzemelerin ses yutma katsayıları

(Asdrubali F. , 2006)



Geri dönüşümlü ürünler ile ilgili firma ve ürün araştırmaları yapılmış; firma bilgisi, ürün adı, ürün özellikleri, ürün görselleri ve akustik performans dökümanları derlenerek tablolaştırılmıştır (Bkz. Ek 2 Bazı Dış Mekan Kullanımlı Geri Dönüşümlü Malzemelerin Performans Değerleri). Bu kapsamda bazı firma ürünleri doğrultusunda hazırlanan performans değerleri Tablo 3.15 üzerinde verilmiştir.

Tablo 3.15. Farklı geri dönüşümlü malzemelerin ses yutma katsayıları

Ürün		Ses Yutma Katsayısı								
Açıklama	Kalınlık (mm)	125	200	315	500	1250	2000	3150	5000	Ort.
Sürdürülebilir, lif içermeyen, ses yutucu karo	50	0.10	0.16	0.34	0.67	1.05	0.84	0.89	0.88	0.55
%65 geri dönüşümlü pet şişe, polyester elyaf blok	42	~ 0.25	~ 0.55	~ 0.90	~ 1.15	~ 0.95	~ 0.95	~ 0.90	~ 0.90	1.0

3.3.3.9. Akustik malzemeler

Ürün niteliği

Son yıllarda çevre ve halk sağlığına daha fazla dikkat edilmesi, gürültü kontrolüne yönelik birçok yeni malzemenin araştırma ve geliştirilmesini geleneksel olanlara alternatif olarak teşvik etmiştir (Asdrubali F. , 2007). Teknolojinin gelişmesi ile gürültü

kontrolü için yeni malzemeler araştırılması ile üretilen akustik malzemeler bulunmaktadır (Asdrubali F. , 2006).

Özel üretim ile istenilen frekans aralığına karşı etkin akustik ürünler; bariyer yüzeylerinde ya da bina cephelerinde uygulanabilecek kaplama malzemeleri ya da bir konstrüksiyon sistemi desteği ile bariyer teşkil edebilecek panel malzemelerdir. Akustik ürünler; panel, kumaş ya da sıva seçenekleri ile tercih edilebilirler. Akustik bir panel tipik olarak, ses yutucu özellik içeren bir yüzey tabakasından oluşur. Polyester bir yüzey örtüsü içindeki mineral yün ya da cam elyaf malzemeleri ile ses yutuculuğu sağlanabilir. Yutucu malzeme özelliği bariyer performansını belirler (EPD, 2003). Akustik sıva ses yutucu pigment içeriği ile yüzey üzerine uygulanarak sesin yüzeyde yutulmasını sağlar.

Üretim faktörleri

Endüstriyel üretim malzeme işlevine, kalitesine, dayanımına ve tasarım gereksinimlerine müdahale olanağı tanımaktadır. Gürültü bariyerleri işlevini yerine getirebilmesi için malzeme akustik verimini yeterli kılacak içerikte olmalıdır. Akustik verimliliğin ve dış mekan dayanımının karşılanması için uygun içerik düzenlemelerinin yapılması gerekir.

Farklı ürün incelemeleri sonucunda, akustik ürün kullanım avantajlarının değerlendirilmesi için kataloglarda belirtilen özellikler incelenmiş ve malzemenin karşılaması beklenen özellikler belirlenmiştir. Dış mekan kullanımlı malzeme gereksinimleri dahilinde, akustik malzemeler; yüksek performans değerlerine sahip, kalite tescilli belgelenmiş, darbe, hava, su, tuz, UV, kirlenme, bakteri ve mantar oluşumuna dayanımlı, hafif ve yanmaz olmalıdır. Boyutsal düzenleme olanaklarına ve kartela çeşitliliğine sahip olması ürünleri tercih edilebilir kılacaktır. Montaj kolaylığı, yapım ve bakım maliyetleri değerlendirilmedir. Zamansal dayanımı yüksek olmalıdır. (Pyroteknc), (Winab), (Procter), (Acoustical Surfaces)

Ürün performansı

Endüstriyel üretim sonucu yapılan bu tür gürültü bariyerleri; malzeme özelliklerine göre farklı etkinliklere ve düzenlenebilir performans değerlerine sahiptirler.

Akustik ürünler ile ilgili firma ve ürün araştırmaları yapılmış; firma bilgisi, ürün adı, ürün özellikleri, ürün görselleri ve akustik performans dökümanları derlenerek tablolastırılmıştır. (Bkz. Ek 3 Bazı Dış Mekan Kullanımlı Akustik Malzemelerin Performans Değerleri) Bu kapsamda bazı akustik ürün örnekleri doğrultusunda hazırlanan performans değerleri Tablo 3.16 üzerinde verilmiştir.

Tablo 3.16. Farklı akustik malzemelerin ses yutma katsayıları

Ürün		Ses Yutma Katsayısı					
Açıklama	Kalınlık (mm)	125	250	500	1000	2000	4000
Aluminyum ses yutucu panel	75	0.20	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00
Polyester filament iplikli dokuma	31	0.48	0.68	0.16	0.14	0.08	0.07
Akustik çit	~ <10	~ 0.35	~ 0.08	~ 0.06	~ 0.05	~ 0.07	~ 0.12
Taş, mineral ve hidrolik bağlayıcı içerikli sıva	20	0.23	0.30	0.59	0.64	0.67	0.82

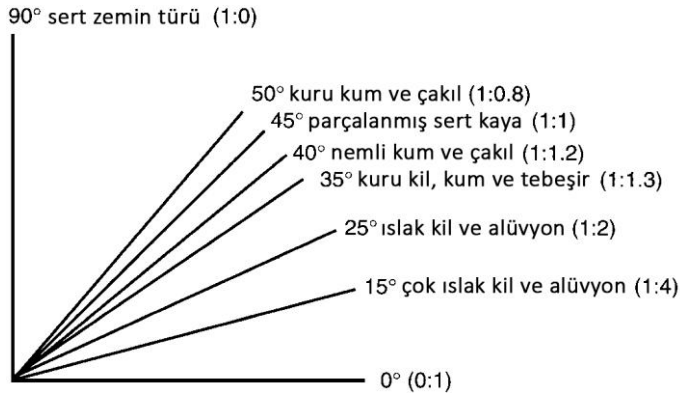
3.3.3.10. Toprak yığın bariyerler

Bariyer niteliği

Toprak yığın bariyerler, toprak dolgulu tepelerde sesin kırınması ya da yüzeyde yutulması ile gürültüyü azaltmasını kapsamaktadır (Ekici & Bougdah, 2003). Stabilitate sağlayan her türlü toprak materyali, toprak yığın bariyer yapımında kullanılabilir. (Bjelić & diğerleri, 2012) Kullanılan toprak materyalinin kalitesi, zemin işleri için belirli teknik koşullarda belirtilen taleplere uygun olmalıdır. (Bjelić & diğerleri, 2012)

Toprak yığının yan yüzey eğimi genellikle 1:2-1:3 oranlarında oluşturulur. Eğimli yüzeylerinin uygulanması ile ilgili olarak; akustik performans sağlanmalı, yüzeyin jeoteknik yapısı değerlendirilmeli, topografya yüksekliği belirlenmeli, konumlanacağı alan genişliği dikkate alınmalı, dolgu malzemesi maliyeti hesaplanmalı ve çevredeki peyzaj karakteri değerlendirilmelidir. (Kotzen & English, 1999) Toprak yığın bariyerlerde yüzey stabilitesinin sağlanması için farklı eğimler için kullanılması önerilen toprak çeşitleri Grafik 3.12 üzerinde verilmiştir.

Grafik 3.12. Toprak yığın bariyerlerde yüzey eğimi - malzeme türü ilişkisi
(Kotzen & English, 1999)



Toprağı stabilize etme, su kontrolü ve peyzaj tasarımı amacıyla bitkisel materyalden faydalanılabilir. Bitkisel tasarım, doğal çevreye uyum sağlanması açısından önemlidir (Kotzen & English, 1999). Aynı zamanda toprak set üzerinde bitkilendirme uygulaması ile bitki örtüsünün köklerinin toprak yüzeyini açık tuttuğu ve toprak yapısının daha gözenekli olduğu, toprağı ses emici bir malzeme haline getirdiği düşünülmektedir (Dobson & Ryan, 2000).

Uygulama faktörleri

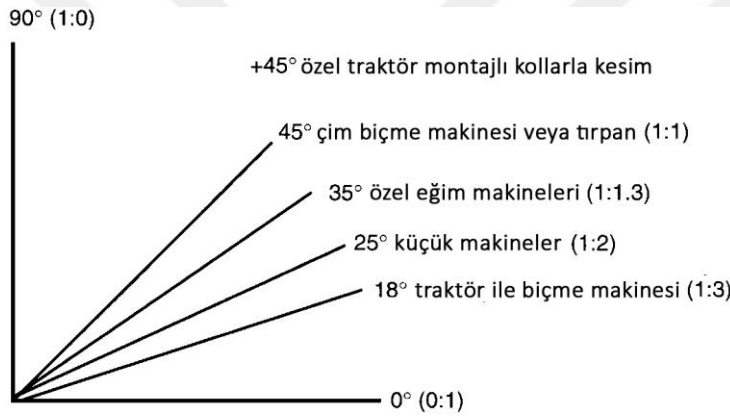
Toprak yığın bariyerler; doğal bir görünüme sahiptirler ve gürültü bariyeri olarak algılanamayabilirler. Aynı zamanda gürültü bariyerleriyle karşılaştırıldığında daha açık bir alan hissi yaratırlar. (CEDR, 2017) Toprak yığın bariyerin yüzeyde kapladığı alanın geniş olması; doğal görünüm, açık alan hissi, ek güvenlik çiti gerektirmemesi, peyzaj alanı olarak kullanılabilme gibi avantajlar tanımaktadır. Bu bariyerler aynı zamanda; yapım ve bakım maliyetinin düşük olması, uzun ömürlü kullanım avantajlarına sahiptir. (Kotzen & English, 1999)

Toprak yığın bariyerlerin zeminde fazla yer kaplaması, belirli alanlarda sorun olabilir (Bjelić & diğerleri, 2012). Yeteri kadar yüksek toprak yığın bariyerleri inşa etmek için zeminde yeterli alan bulunmadığında, yamaçları dikleştirmek için; yamaç önünde istinat duvarı yapımı ya da toprak içinde çelik hasır ya da jeotekstil malzeme kullanılması gerekmektedir. (Kotzen & English, 1999) Alternatif olarak, güçlendirilmiş ve ankrajlı toprak konstrüksiyonu, gabyonlar, beton veya ahşap beşikler ve diğer özel destek sistemleri gibi tutma yöntemleri, kaynak cephesini avantajlı bir şekilde destekleyebilir. (EPD, 2003)

Birkaç yıl boyunca, bitki örtüsü ile yapılmış bir toprak yığın bariyer, doğa ile uyum içinde ve peyzajın doğal karakterini artıracak gibi görünecek ve zamanla çeşitli hayvan türlerinin ve bitkilerin geliştiği küçük bir ekolojik sistem haline gelecektir. (CEDR, 2017) Ancak; tüm eğimli yüzeylerde bitkilendirme uygulaması bakım gerektirmektedir. Bitkilendirme yapılabilmesi için 1:6, tarım yapılabilmesi için ise 1:10 oran gereklidir. Bakım için, çalı ve ağaçların maliyeti çim alanlardan daha düşük olacaktır (Kotzen & English, 1999). Farklı eğimlerde uygulanmış bitkilerin bakımı için kullanılabilecek olan ekipmanlar Grafik 3.13 üzerinde verilmiştir.

Grafik 3.13. Yüzey eğimi - bitki bakımı ilişkisi

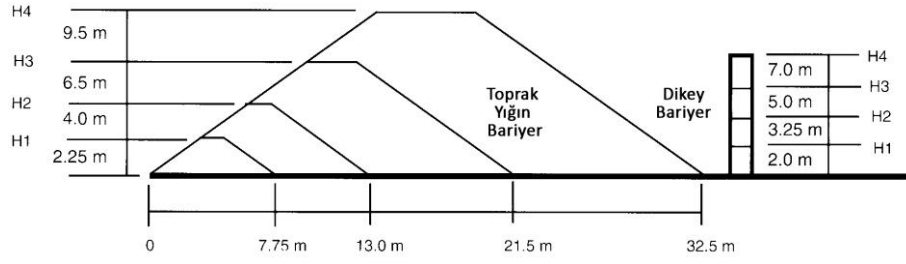
(Kotzen & English, 1999)



Bariyer performansı

Genel olarak, basit bir gürültü bariyeriyle aynı yükseklik için, toprak höyükleri; düz veya yuvarlatılmış üst gölge bölgesine daha fazla gürültünün dağılmasını sağlaması, höyüğün tabanı göreceli olarak geniş olması ve gürültü kaynağına yakın yerleştirilememesi sebebiyle gürültünün azaltılmasında daha az verimlidir. Eğimin dikleşmesiyle gürültü kaynağına yaklaşan toprak yığın bariyerin performansı artacaktır (Watts & Morgan, 2005). Kaynak yönündeki yamaç eğiminin mümkün olduğunca dik olması önemlidir (Kotzen & English, 1999).

Toprak yığın bariyerler, kenarlarında sed içermesi ve aynı akustik performansın elde edilmesi için dikey bariyerlerden daha yüksek olması gerektiği sebebi ile dikey bariyerlerden daha fazla alan gerektirir. (Kotzen & English, 1999) Dikey gürültü bariyerleri ile toprak yığın bariyerler arasındaki yükseklik ve taban alanı karşılaştırması Şekil 3.15 üzerinde gösterilmektedir. Akustik olarak; 4 m yüksekliğindeki bir toprak yığın bariyer, 3,25 m yüksekliğindeki bir gürültü bariyerine karşılık gelir.



Şekil 3.15. Toprak yığın bariyer ve dikey bariyer yerleşim karşılaştırması
(Kotzen & English, 1999)

3.3.3.11. Bitkisel bariyerler

Bariyer niteliği

Bitkilendirmenin gürültü kontrolünde kullanımı; yapısal gürültü bariyerlerine, çevresel ve estetik bir alternatif olarak incelenmektedir. Bitkisel gürültü bariyerleri; bitkilerin sürdürülebilirlik işlevlerinden faydalanılarak gürültü denetiminin sağlandığı bitkilendirme uygulamalarını içerir. Bitkisel bariyer tasarımı; sıralı ağaçlar, çalı grupları, çitler vb. toprak üzeri uygulamaları kapsamaktadır. Bu tip gürültü kontrolü uygulamasında, bitki grupları ile oluşturulan setler ile doğal gürültü bariyerleri oluşturulmaktadır. Bitkisel materyal ile gürültü azalması; yansıma ve yutma niteliğinin kombinasyonu ile sağlanmaktadır (Reethof, 1973).

Kalansuriya ve diğerleri; değişken trafik koşullarında doğal olarak yetişen bitki örtüsünün ses yutma etkinliğini tahmin etmek için yapmış oldukları bir araştırma doğrultusunda; aynı yol üzerinde bitki örtüsü olan ve olmayan iki referans belirleyerek, bu iki ölçüm arasında karşılaştırma yapmış ve bitki örtüsünün gürültü azalmasındaki etkisini incelemişlerdir. Tablo 3.17 üzerinde bitkisel bariyerlerin gürültü azaltım etkisi görülmektedir. Bitkisiz ve bitkilendirilmiş alanlardaki gürültü düzeyleri arasında; kaynak türüne bağlı olarak 1-7 dB(A) arasında fark bulunmaktadır. Gürültü düzeyindeki azalmanın kaynak türüne bağlı olarak tespit edilmesi ile bitkisel materyal performansının yüksek olduğu frekans aralığı belirlenmiştir. (Kalansuriya & diğerleri, 2009)

Tablo 3.17. Bitkisel bariyerlerin gürültü azalmasına etkisi

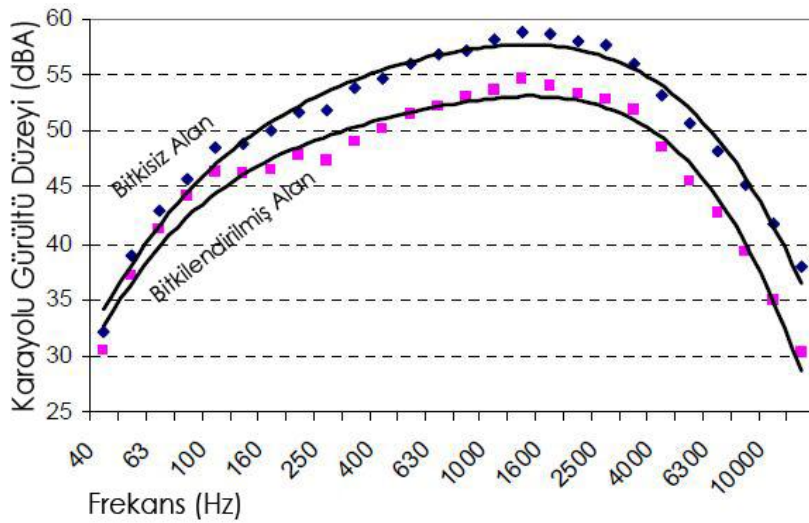
(Kalansuriya & diğerleri, 2009)

Alan	Bitkisiz Alan dB(A)	Bitkilenmiş Alan dB(A)	Azalma dB(A)	Akustik Enerji Azalması (%)	Dakikada Geçen Ortalama Araç Oranı		
					Ağır	Hafif	Çok Hafif
1	69	65	4	60	0.5	2.4	6.8
2	67	60	7	80	0.9	1.4	3.6
3	70	68	2	37	2.9	2.7	5.5
4	72	66	6	75	2.4	2.3	6.3
5	72	66	6	75	3.5	2.1	6.5
6	69	68	1	21	1.7	1.9	3.4
7	68	63	5	68	1.0	2.2	3.1
8	66	61	5	68	1.1	2.3	6.2
9	65	62	3	50	1.1	4.0	6.1
10	64	62	2	37	0.6	1.6	3.6
11	68	64	4	60	0.8	2.5	2.8
12	66	61	5	68	1.0	1.3	2.9
13	69	63	6	75	3.1	3.3	5.6
14	68	66	2	37	1.5	0.9	2.5
15	69	67	2	37	1.4	1.8	4.3
16	72	66	6	75	3.0	1.5	5.0

Bitkisiz ve bitkilendirilmiş alanlarda farklı frekanslarda tespit edilen gürültü düzeyleri ise Grafik 3.14 üzerinde verilmiştir. Bitkisel bariyerlerin orta frekanslardaki etkinliği görülmektedir.

Grafik 3.14. Bitkisel bariyerlerin gürültü düzeyine etkisi

(Kalansuriya & diğerleri, 2009)



Uygulama faktörleri

Bitkisel bariyerler; gürültü kontrolü işlevinin bitkilerin sürdürülebilir niteliklerinin desteklenmesi ile avantajlı bir öneri sunmaktadır. Ancak, gürültü rahatsızlığının önlenmesi için bitkisel bariyerin hassas hesaplama gerektiren alanlarda bitkisel materyalin tek başına kullanılması önerilmemektedir. Gürültü kontrolünde tek başına bitkisel materyal kullanımının bazı sakıncaları vardır. Bitkisel bariyerlerde gürültü kontrolü hemen sağlanamayabilir ve bitkinin gelişmesi beklenmek durumunda kalınabilir. Doğası gereği bitkiler sürekli değişim göstermektedir ve bitki örtüsü büyüdükçe bazı bozulmalar gözlenebilir. Aynı zamanda gürültü azalma miktarı da sürekli değişim gösterebilir. (Kotzen & English, 1999)

Bitkisel bariyer kullanım avantajlarını değerlendirmek üzere karayolu ulaşım gürültüsünün kontrolünde bitkilendirme uygulamaları üzerine araştırmalar yapılmış ve yeşil alanların gürültü kontrolüne olan etkisi incelenmiştir.

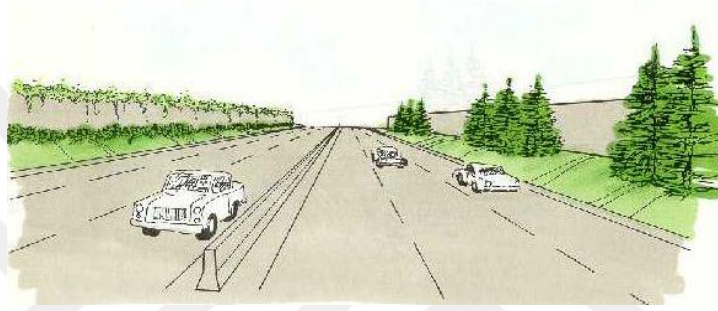
Margaritis ve Kang; Avrupa’da çeşitli örnek olay şehirleri üzerinden gürültü düzeyi ve kentsel yeşil alan oranına bağlı gözenekli şehir yapısı ilişkisinin karşılaştırılması için şehirlerin gürültü haritaları çıkarılmış ve gridler ile şehir planları parçalanarak gürültü düzeyinin etkili olduğu alandaki yeşil alan miktarına ilişkin sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma sonucunda kentsel yeşil alanlar ve gürültü düzeyleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi doğrultusunda kentsel düzeyde daha yüksek gözeneklilik ve yeşil alan kapsamına sahip şehirlerde daha düşük gürültü seviyelerine ulaşılabilceği bulunmuştur. (Margaritis & Kang, 2016)

Sakieha ve diğerleri; İran/Karaj şehrinde karayolu ulaşım hattı üzerinde belirlenen ölçüm noktaları ile yeşil alanların konumu arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi ile gürültü kirliliği merkezlerine daha yakın olan yeşil alanların, gürültü yayılmasının etkilerini önemli ölçüde azaltabileceği ve yeşil alanlarla birlikte gürültünün düşük yoğunluklu bir dağılım izlediği belirtilmiştir. (Sakieha & diğerleri, 2017)

Dzhambov ve Dimitrova; yeşil alanların çevresel gürültü algısı üzerindeki etkilerini incelemiş ve kentsel yeşil alanların gürültü duyarlılığını azalttığı ancak gürültü rahatsızlığını etkilemediği sonucuna varmıştır. (Dzhambov & Dimitrova, 2015)

Hassas hesaplama gerektiren alanlarda yapısal bariyerlerin performans değerleri ve bitkisel materyalin işlevinden faydalanılabilir. Bitkisel materyallerin yapısal gürültü bariyerleri ile birlikte kullanılmasıyla duvar etkisi yumuşatılabilir (Erdoğan & Yazgan, 2007). Bitkisel materyal; bir yapısal bariyeri kısmen gizleyebilir, tamamen kapatabilir

ya da odak noktaları oluşturabilir. Bariyer uzunluğu boyunca düzenli dikim şemaları, görünüşünün koordine edilmesine ve uyumlaştırılmasına yardımcı olabilir. (Kotzen & English, 1999) Olgun, boylu ağaçların kullanımı, estetik ve işlevsel anlamda çevreye katkı sağlayacaktır. Çalılar ve sarılıcı bitkiler ise duvar yüzeylerinin kitleselliğini kırılmaktadır. (Erdoğan & Yazgan, 2007) Yapısal bariyerlerle birlikte bitkilendirme uygulamaları; estetik görünümünün yanı sıra, herhangi bir kaza anında esnek yapıları nedeniyle kazanın etkisinin hafiflemesine de faydalı olacaktır (Güçlü, 1993). Bariyer önünde bitkilendirme uygulaması örneği Görsel 3.1’de gösterilmektedir.



Görsel 3.1. Bariyer önünde bitkilendirme uygulaması
(Farnham & Beimborn, 1990)

Tek başına bitkisel materyalden faydalanılarak yapılacak düzenlemelerde bitkilerin gürültüye karşı etkin olabilmesi için;

- Cook ve Hoverbeke; kontrolün 20-30 m genişlikte minimum 4 m yüksekliğindeki ağaçlarla birlikte çalı grupları ile sağlanabileceğini (Özer, 1998) ve 15-30 m genişliğindeki ağaç kümelerin ses seviyesini 5-10 dB azaltılabileceğini (Dobson & Ryan, 2000),
- Gallion ve Eisner; bitki örtüsünün en az 7.5 m genişlikte ve 5 m yükseklikte olması gerektiğini (Özer, 1998),
- Huddart; 30 m genişlikte yoğun bitkilendirilmiş alanlarda ses seviyesinin 6dB (Huddart,1990),
- Leonard ve Parr, Reethof; 15-30 m genişliğindeki yoğun ağaç ve çalılık kuşağı ile ses seviyesinin 6-10 dB (Dobson & Ryan, 2000),
- Ürgenç; bitki örtüsünün en az 4-16 m genişlikte olması gerektiğini (Akay, 2015), genç ve sık bir ormanın birim metre genişlikteki şeridi gürültüyü 1.16 dB azaltabilmesiyle 250 m. genişlikteki sık bir plantasyon 40 dB(A) gürültü azalması sağlayabileceğini (Erdoğan & Yazgan, 2007), kırsal

kesimde yoldan geçen yüksek hızda araçların meydana getirdiği gürültüyü azaltmak için en etkin ağaç ve çalılardan oluşan yeşil şerit genişliğinin 20-30 m olması, bu şeritlerin ortasındaki ağaçların boyları en az 14 m yüksekliğe ulaşması ve şeridin kenarı trafik hattının merkezinden 16-20 m uzaklıkta ve kent içinde ise, ağaç ve çalılardan oluşturulan yeşil şerit genişliğinin 6-16 m, bu şeridin dış kenarı en yakın trafik hattının merkezinden 5-16 m olması gerektiğini (Akay, 2015),

- Demirel; doğal bariyerlerin en az 10 m genişlikte kuşaklardan oluştuğunu,
- Bies ve Hansen; bir karayolu omzunun kenarı boyunca dikilen en az 2.5 m yüksekliğinde ve 4.5- 6 m genişliğinde kesintisiz bir zakkum şeridi veya eşdeğer çalı şeridinin, 15 metreye kadar olan mesafelerde 1-3 dB (A) gürültü azalma sağladığını ve 60 m genişliğindeki bir ağaç şeridi ile trafik gürültüsünün 10 dB (A) kadar azalabileceğini (Bies & Hansen, 2003),
- Erdoğan ve Yazgan; bitkilerin gürültü engellemede etkin olabilmesi için olabildiğince derin ve en az 5 m. yüksekliğe ulaşmış olması gerektiğini (Erdoğan & Yazgan, 2007),
- Kalansuriya ve diğerleri; bitki örtüsü bariyerlerinin, 5 dB (A) düzeyinden daha yüksek zayıflamalara ulaşmak için en az 1.5 metre derinliğinde olmaları gerektiğini (Kalansuriya & diğerleri, 2009) belirtmişlerdir.

Referans alınan kaynaklarda, gürültü kontrolünde bitkisel bariyer etkinliğinin farklı değişkenler üzerinden ifade edildiği görülmüştür. Kaynaklarda ifade edilen; bitkisel bariyer uygulamalarında gürültü düzeyindeki azalma miktarına etki eden parametrelerin derlendiği tablo aşağıda verilmiştir (Tablo 3.18). Bitkisel bariyerlerde; kaynağa olan uzaklık, bariyer genişliği, derinliği, yüksekliği, bitki türü ve yoğunluğu parametrelerine bağlı olarak gürültü düzeyindeki azalma miktarı değişmektedir.

Tablo 3.18. Bitkisel bariyer uygulamalarındaki parametreler

(Cook&Hoverbeke, 1977), (Gallion&Eisner, 1986), (Ürgeç, 1990), (Demirel, 1996), (Bies & Hansen, 2003), (Erdoğan & Yazgan, 2007), (Kalansuriya & diğerleri, 2009)

Kaynak	Bitkisel Bariyer Uygulamalarındaki Parametreler					
	Uzaklık (m)	Genişlik (m)	Derinlik (m)	Yükseklik (m)	Azalma dB(A)	Bitki Türü, Yoğunluğu
(Leonard & Parr, 1970)	-	15-30	-	-	6-10	Yoğun ağaç ve çalı grubu
(Cook&Hoverbeke, 1977)	-	20-30	-	4	Optimum	Ağaç ve çalı grubu
	-	15-30	-	-	5-10	Ağaç kümeleri
(Gallion&Eisner, 1986)	-	7.5	-	5	Minimum	Bitki örtüsü
(Huddart, 1990)	-	30	-	-	6	Yoğun bitkilendirilmiş alan
(Ürgeç, 1990)	-	4-16	-	-	Minimum	Bitki örtüsü
	-	250	-	-	40	Sık bitki örtüsü
	16-20	20-30	-	14	-	Ağaç ve çalı grubu
	5-16	6-16	-	-	-	Ağaç ve çalı grubu
(Demirel, 1996)	-	10	-	-	Min	Bitki örtüsü
(Bies & Hansen, 2003)	15	4.5- 6	-	2.5	1-3	Zakkum şeridi
	-	60	-	-	10	Ağaç şeridi
(Erdoğan & Yazgan, 2007)	-	-	Max	5	-	Bitki örtüsü
(Kalansuriya & diğerleri, 2009)	-	-	1.5 m	-	5	Bitki örtüsü

Farklı kaynaklardan alınan bilgilerin tüm değişkenlere yönelik karşılaştırmalı bilgi sağlamaması nedeniyle; bitkisel bariyer uygulamalarındaki değişkenlerin gürültü azalmasına etkisini belirlemek üzere yapılan araştırmalar sonucunda bitkisel materyal etkinliğinin; bitki yerleşimi, bitki yoğunluğu, bitki türü ve bitki çeşitliliği parametreleri ile ilişkili olduğu belirlenmiş ve ilişkili olunan parametreler incelenmiştir.

▪ **Bitki yerleşimi**

Bitkisel bariyer yerleşimi kapsamındaki, bitkisel uygulama alanının kaynağı ve alıcı arasındaki konumu, derinliği, uzunluğu; bariyer performansını etkilemektedir.

Ağaç ve çalı perdesi gürültü kaynağına ne kadar yakın ve korunacak sahaya ne kadar uzak olursa o ölçüde optimal sonuç verecektir (Akay, 2015). Ağaçların

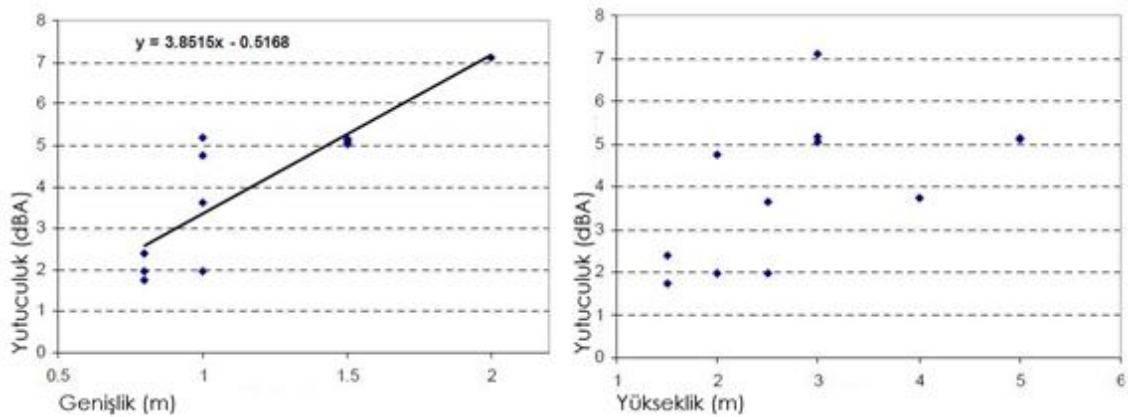
yoğunluğunun, yüksekliğinin, genişliğinin ve derinliğinin, yaprak büyüklüğü ve dallanma özelliklerinden ziyade gürültüyü azaltmak için en önemli faktörler olduğu ortaya konmuştur (Karbalaei & diğerleri, 2015). Ağaç yüksekliği, dikim derinliği ve dikim yoğunluğu baskın değişkenler olarak görülmektedir (Reethof, 1973).

Karbalaei ve diğerleri, çalışmalarında; yeşil bantların üç farklı derinlikte (25, 50 ve 100m) gürültü azaltma için yol kenarındaki potansiyeli tespit etmişlerdir. İran, Noor şehrinde karayolu gürültü kaynağı ile yapılan çalışmada; 97 dB gürültü seviyesi olan gürültü oluşturmak için tek tip bir gürültü ses kaynağı kullanılarak, gürültü kaynağından 25, 50 ve 100 m derinliği, ağaç kuşaklarının arkasında, 1.2 m alıcı ile yapılan ölçümler sonucunda, farklı derinliklerdeki bitkisel bariyerlerin;

- Genişliği 100 m olan kozalaklı ağaçlar için 38.62 dB(A),
- Genişliği 50 m olan kozalaklı ağaçlar için 34.00 dB(A),
- Genişliği 25 m olan kozalaklı ağaçlar için 26.50 dB(A) gürültü azalması sağladığı belirlenmiştir. (Karbalaei & diğerleri, 2015)

Bitkisel bariyerlerin derinliğinin artmasıyla gürültü azaltımında daha etkin sonuç verdiği görülmektedir. Bitki örtüsü derinliği arttıkça gürültü azaltımının artmakta olduğu, ancak bitki örtüsü yüksekliğinin gürültü azalmasını, trafik gürültüsünün genel olarak 0.5-1.5 m. aralığında oluşması sebebi ile oransal olarak etkilemediği Grafik 3.15 üzerinde görülmektedir. (Kalansuriya & diğerleri, 2009)

Grafik 3.15. Bitkisel bariyer derinliği ve yüksekliğinin gürültü azalmasına etkisi
(Kalansuriya & diğerleri, 2009)

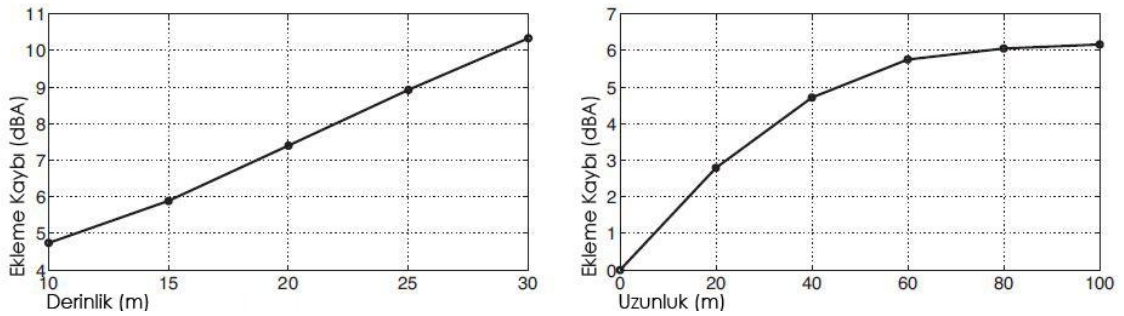


Bir bitkisel bariyerin derinlik ve yükseklik özelliklerinin yanında kaynağa paralel yerleşim özellikleri de gürültü azalmasında etkilidir. Bitkisel bariyer konumunun, korunacak sahada kaynağa göre yaklaşık olarak iki misli mesafede olması gerektiği belirtilmektedir (Yerli, 2012).

Renterghem, karayolu gürültü kaynağı ve alıcı arasında oluşturulacak ağaç kuşaklarında, ağaç dikim şemasının gürültü azalması üzerindeki etkisini incelemiştir. (Renterghem T. V., 2014)

Ağaç kuşağı yola dik derinliği arttıkça alıcıda ölçülen gürültü düzeyi azalmaktadır. Ağaç kuşağının yola paralel uzunluğunun artması ile ise gürültü azalmasının genel etkinliği düşmektedir. 4 şeritli yol, 70 km/sa ortalama hız, %15 ağır taşıt oranı ile karayolu gürültüsü; 40 m ağaç kuşağı uzunluğu, 15 m ağaç kuşağı derinliği, 1.5 m alıcı yüksekliği ve 1 m yola paralel, 2 m yola dik ağaç yerleşim şeması üzerinden alınan sonuçlara göre ağaç dikim şemasının gürültü azalması üzerindeki etkisini gösteren grafikler aşağıda verilmiştir (Grafik 3.16).

Grafik 3.16. Bitkisel bariyer derinliği ve uzunluğunun gürültü azalmasına etkisi
(Renterghem T. V., 2014)



■ Bitki yoğunluğu

Gürültüyü azaltmada sık dikim çok önemlidir. Genişliği 30 m olan sık bir ağaç topluluğunun gürültüyü azaltma derecesinin seyrek bitkiler ve ağaçlardan oluşan 140 m genişlikteki bir parkın gürültüyü azaltma derecesine eşit olduğu bilinmektedir (Akay, 2015). Fang ve Ling; herdem yeşil bitki türü ile yapılan bir araştırmada; büyük çalılardan oluşan yeşil kuşağın 5 m'den daha az bir mesafede en az 6 dB(A), ağaç ve çalılardan oluşan grubun 6-19 m mesafede 3-5.9 dB(A), seyrek ağaç ve çalılardan oluşan grubun 20 m mesafede 2.9 dB(A)'den daha az gürültüyü azalttığını belirtmiştir. (Fang & Ling, 2003)

Ow ve Gosh; yol kenarındaki bitki örtüsünün yol trafik gürültüsünün azalması üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, seyrek ve sık dikim şemalarında, kaynaktan alıcı arasındaki 5-10-20 m ağaç kuşakları arkasında, kamyon ve ambulans taşıt gürültüleri için yapılan hesaplamalarla; bitki örtüsünün yoğunluğuna bağlı olarak gürültü azalma miktarını tespit etmişlerdir. (Ow & Ghosh, 2017) Çalışma kapsamındaki seyrek ve sık dikim alanları Görsel 3.2 içeriğinde verilmiştir.



Görsel 3.2. *Yol kenarında orta ve sık yoğunlukta bitki örtüsü*

(Ow & Ghosh, 2017)

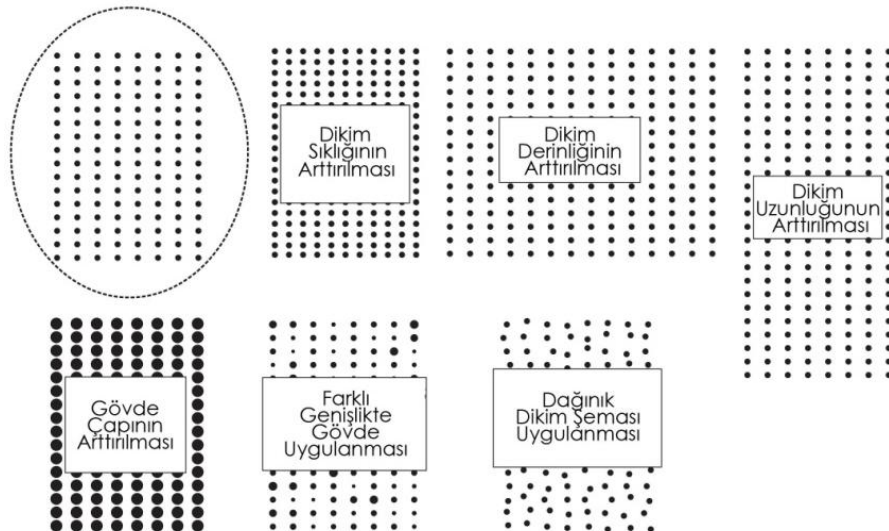
Bitki örtüsü yoğunluğu, yol hattından alıcı uzaklığı, gürültü düzeyi, kaynak türü, gürültü düzeyi ve azalma değerine ilişkin çalışma verileri Tablo 3.19 üzerinde gösterilmiştir. Uzaklığa bağlı azalmanın yanı sıra bitki örtüsüne ve kaynak türüne bağlı olarak; düşük frekanslı kamyon gürültüsü için orta yoğunlukta bitki örtüsünde 5.8 dB, sık yoğunlukta bitki örtüsünde 8.3 dB; yüksek frekanslı siren gürültüsü için orta yoğunlukta bitki örtüsünün 6.7 dB, sık yoğunlukta bitki örtüsünün 8.3 dB gürültü azalması sağladığı görülmektedir.

Tablo 3.19. Bitki yoğunluğunun gürültü azalmasına etkisi

(Ow & Ghosh, 2017)

Bitki Örtüsü Yoğunluğu	Kaynak Türü	Yol Mesafesi	Gürültü Düzeyi (dB)
Orta Yoğunluk	Kamyon	Kaynak konumu	69.5
		5 m uzaklıkta	67.4
		10 m uzaklıkta	66.2
		20 m uzaklıkta	63.7
	Ambulans Sireni	Kaynak konumu	71.9
		5 m uzaklıkta	68.5
		10 m uzaklıkta	65.1
		20 m uzaklıkta	65.2
Sık Yoğunluk	Kamyon	Kaynak konumu	68.6
		5 m uzaklıkta	65.9
		10 m uzaklıkta	62.7
		20 m uzaklıkta	60.3
	Ambulans Sireni	Kaynak konumu	70.1
		5 m uzaklıkta	65.2
		10 m uzaklıkta	63.3
		20 m uzaklıkta	61.8

Gürültü kontrolü için, ağaçların sık dikimli yerleştirilmiş olması gürültü azalması için gerekmektedir. Ancak sık dikim; ağaçların ışık, besin ve su ihtiyacını karşılamadaki erişimlerine ilişkin bir çelişki içerdiğinden, dikim şemaları ile ilgili bir tasarım kılavuzu oluşturulmuştur. Kılavuz içeriğindeki dikim şeması önerileri Şekil 3.16 üzerinde verilmiştir.



Şekil 3.16. Bitkisel bariyer dikim şeması yerleşimleri

(Renterghem T. V., 2014)

Bitki yoğunluğu, gürültü azalma ihtiyacını sayısal veriler ile karşılamasının yanı sıra gürültü algısı üzerinde de etkilidir.

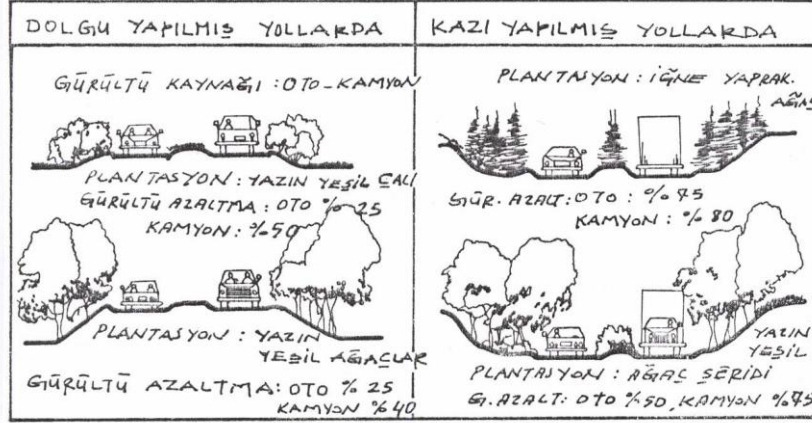
Li, Chau ve Tang, farklı miktarlarda yeşillik algısının gürültü rahatsızlığı üzerinde önemli bir etkisi olduğu belirtmişlerdir. Bulgular genel olarak yakındaki yeşillik algısının genellikle evde görülen gürültü rahatsızlığını azaltabileceğini ortaya koymaktadır. Gürültü sıkıntısı üzerindeki azaltma etkisinin büyüklüğü, katılımcıların evlerinden algıladığı yeşillik türüne bağlıdır. Sulak alan parkları, bahçe parkları ve çim tepeler olmak üzere, üç farklı yeşillik ortamına dayandırılan sonuçlarda; katılımcıların evlerinin sulak alan parklarına veya bahçe parklarına yakın olması durumunda, evlerinden çok fazla yeşillik algılayanların, sadece biraz yeşillik algılayanlardan daha az rahatsız olmuş hissettikleri görülmektedir. (Li, Chau, & Tang, 2010)

▪ **Bitki türü**

Bitkisel materyalin her bölümü ses yutma ve yansıtma etkindir. Sesi yutma ve yansıtma özelliği en fazla yapraklarda görülmektedir, dal ve gövdelerin ses yutucu niteliği yapraklara göre daha azdır (Erdoğan & Yazgan, 2007). Strüktürü işleve uygun olmayan yüksekten dallanan ağaçlar ile yapılan yanlış bitkilendirme sonucu, istenmeyen yansımalar nedeniyle gürültü azaltılamayacaktır (Yılmaz & Özer, 1997).

Bitki örtüsünün genel olarak yüksek frekanslarda etkili oldukları belirtilmektedir (Kotzen & English, 1999), (Kalansuriya & diğerleri, 2009). Gürültüyü azaltmak amacı ile kullanılacak bitkilerin, farklı frekans aralıklarında etkili olabilmeleri için; oldukça büyük ve sert yapraklı, sık bir yaprak dokusuna sahip, yüksek boylu ve mümkünse yere kadar sarkan ve sık sıralı dikilebilen türler olmalıdır. Farklı bitkilerin farklı gürültü frekansları karşısındaki etkinliği aşağıdaki şekillerde belirtilmektedir (Şekil 3.17). Yüksek frekanslı otomobil gürültüsü ve düşük frekanslı kamyon gürültüsünün azaltılması için farklı bitki türleri etkili olmaktadır. Dolgu yapılmış yollarda çalılar ve ağaçlar; otomobil gürültüsünü %25, kamyon gürültüsünü ise %40-50 oranında azaltmaktadır. Kazı yapılmış yollarda yükseklik etkinliği vurgulanan bitkisel bariyerin performansının arttığı; yüksek frekanslı otomobil gürültüsünün azalmasında aşağıdan dallanan iğne yapraklı ağaçların etkinliğinin yüksek olduğu görülmektedir. Düşük frekanslı

kamyon gürültüsünün azaltılmasında topografya düzenlemesi ile etkinliği vurgulanan bitkisel bariyer yüksekliğinin etkili olduğu söylenebilir.



Şekil 3.17. Bitki türünün frekansa bağlı gürültü azalmasına etkisi

(Yılmaz & Özer, 1997)

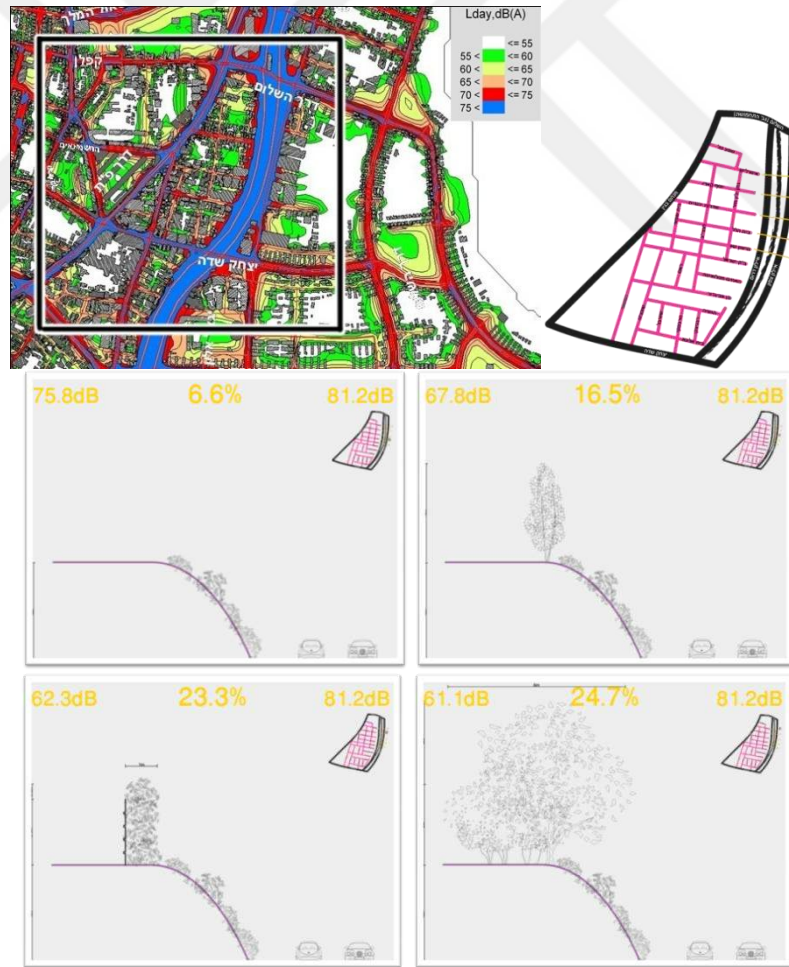
Karbalaei ve diğerleri'nin, çeşitli ağaç türlerinin gürültü azaltma için yol kenarındaki potansiyelini tespit etmek üzere; İran, Noor şehrinde karayolu gürültü kaynağı ile yaptıkları çalışmada; 97 dB gürültü seviyesi olan gürültü oluşturmak için tek tip bir gürültü ses kaynağı kullanılarak, gürültü kaynağından 25, 50 ve 100 m derinlikte, ağaç kuşaklarının arkasında, 1.2 m alıcı ile yapılan ölçümler sonucunda, farklı derinliklerde farklı bitkiler ile teşkil edilen bitkisel bariyerlerin;

- Derinliği 100 m olan ağaç ve çalılar için 44.00 dB(A),
- Derinliği 100 m olan kozalaklı ve geniş yapraklı ağaçlar için 43.50 dB(A),
- Derinliği 100 m olan kozalaklı ağaçlar için 38.62 dB(A),
- Derinliği 50 m olan kozalaklı ve geniş yapraklı ağaçlar için 40.34 dB(A),
- Derinliği 50 m olan kozalaklı ağaçlar için 34.00 dB(A) gürültü azalması sağladığı belirlenmiştir. (Karbalaei & diğerleri, 2015)

Aynı derinlikteki farklı bitki türleri arasında karşılaştırma yapıldığında, ağaç ve çalıların gürültü azaltmada birlikte kullanılmasının avantajlı olduğu görülmektedir. Geniş yapraklı türler iğne yapraklı türlerden daha iyi performans göstermektedirler.

Bitki örtüsündeki maksimum zayıflamanın; yaprak boyutunun, sesin dalga boyunun yarısına eşit olduğu yerlerde meydana geldiği, bu nedenle yaprak döken türlerin önerilmediği belirtilmektedir (Kotzen & English, 1999). Değişken yoğunlukta ağaç kemerlerinin trafik gürültüsü üzerindeki etkilerini inceleyen bir çalışma; yaprak döken bir ormanlık alanın, yoğun bir ladin ormanından çok daha az zayıflama sağladığı tespit edilmiştir (Watts & Morgan, 2005).

Levy & Cohen, 70 dB üzeri gürültüye maruz kalan bir bölgede, 5 farklı noktada bariyerin her iki tarafından da ölçüm alarak topografik ve bitkisel uygulamaların gürültü kontrolüne etkisini raporlamış oldukları çalışmaları kapsamında; farklı bitkilendirme uygulamalarının topografyanın da etkisiyle gürültü azaltım değerleri hesaplamışlardır. (Levy & Cohen, 2009) Bitki türünün gürültü azalmasına etkisi Şekil 3.18 içeriğinde verilmektedir.



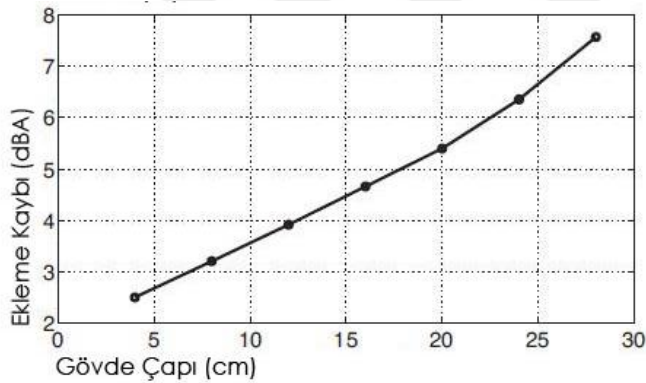
Şekil 3.18. Bitki türünün gürültü azalmasına etkisi

(Levy & Cohen, 2009)

Ağaçlandırma uygulamaları ile teşkil edilen bitkisel bariyerlerde; gövde çapının artması ile gürültü düzeyi azalmaktadır.

Renterghem, karayolu gürültü kaynağı ve alıcı arasında oluşturulacak ağaç kuşaklarında, ağaç gövde çapının gürültü azalması üzerindeki etkisi incelemiş olduğu çalışmada; sık dikimli ve geniş gövde çaplı ağaçların akustik verimliliğinin yüksek olduğunu belirtilmektedir. 4 şeritli yol, 70 km/sa ortalama hız, %15 ağır taşıt oranı ile karayolu gürültüsü; 40 m ağaç kuşağı uzunluğu, 15 m ağaç kuşağı derinliği, 1.5 m alıcı yüksekliği ve 1 m yola paralel, 2 m yola dik ağaç yerleşim şeması üzerinden alınan sonuçlara göre ağaç gövdesi çapının gürültü azalması üzerindeki etkisi Grafik 3.17 üzerinde gösterilmektedir. (Renterghem T. V., 2014)

Grafik 3.17. Bitki gövde çapının gürültü azalmasına etkisi
(Renterghem T. V., 2014)



■ **Bitki çeşitliliği**

Gürültü kontrolünün tam zamanlı sağlanabilmesi için herdem yeşil geniş yapraklı çalı ve ağaçların birlikte kullanılması gerekmektedir. Farklı bitkilerin bir arada kullanılması farklı frekanstaki seslere karşı denetim sağlayabilecektir.

Maleki ve Hosseini; ağaç dallarının, yaprakların ve türlerinin gürültü kirliliği üzerindeki etkilerini belirlemek için, Tahran'da endüstriyel alan ve karayolu hattı ile yerleşim alanları arasında bir sınır tanımlayan Chitgar orman parkından farklı ağaç türlerini incelemişlerdir. İlkbahar ve sonbahar mevsimlerinde karşılaştırılmış ve ağaçsız alan, farklı ağaç türleri ve karışık bitki türleri ile yapılan ölçümler doğrultusunda karışık bitki türleri ile sağlanan gürültü azalmasının optimum değerlere ulaştığı sonucuna varmışlardır. (Maleki & Hosseini, 2011)

Gürültü bariyeri uygulamalarında; gürültünün geliş yönünden itibaren, önce çalılardan başlanmalı ve içe doğru ağaççıklar ve kısa boylu ağaçlar, en içte ise boylu yapraklı ve iğne yapraklı ağaç türleri kullanılmalıdır. Çalı ve ağaçların bir arada kullanıldığı sistemlerde, çalıların ışıksız kalmaması için türler; %5-10 ağaç, %90-95 çalı oranında planlanmalıdır. (Ertekin & Çorbacı, 2010)

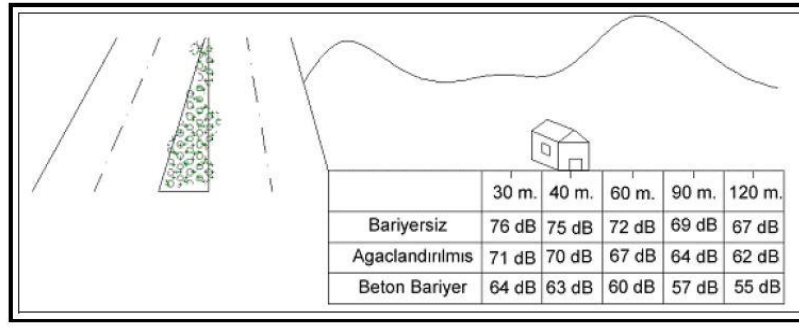
Bitkiler olabildiğince birbirine yakın dikilmeli, aralıklar her bir tür için o yerdeki yetişme koşullarına uygun olmalıdır. Çevresel faktörler seçilecek bitkinin mevsimsel davranışını ve dayanımını etkileyecektir. Bitkisel tasarımda bitkilerin iklimsel özelliklere karşı duyarlılığı ve boylanma durumları mutlaka dikkate alınmalıdır. Tesis ve bakım giderlerini azaltmak için kullanılacak bitkilerin mümkün olduğu kadar doğal bitki örtüsünden seçilmesi veya uygun türlerle doğal bitki örtüsünün bir arada kullanımına gidilmesi gereklidir.

Planlamada farklı türlerde bitkilerin kullanılması; aynı tür bitkilerin kullanılması aynı zamanda bir hastalık ya da zararlıının etkili olması durumunda bitki örtüsünün tamamının yok olmasına neden olacağından, önemlidir (Güçlü, 1993).

Bariyer performansı

Bitki kuşağı doğası gereği değişken bir yapıda olduğundan, sağlanacak zayıflama tam olarak tanımlanamamakla birlikte; hassas hesaplama gerektiren alanlarda tek başına bitkilendirme yöntemi ile bariyer uygulaması yapılması önerilmemektedir (Kotzen & English, 1999). Hassasiyet gerektiren alanlarda denetimde yapısal elemanlardan faydalanılması gerekir. Bitkisel bariyer ve yapısal bariyerlerin gürültü kontrolündeki etkinliğini belirlemek üzere performans karşılaştırmaları yapılmıştır.

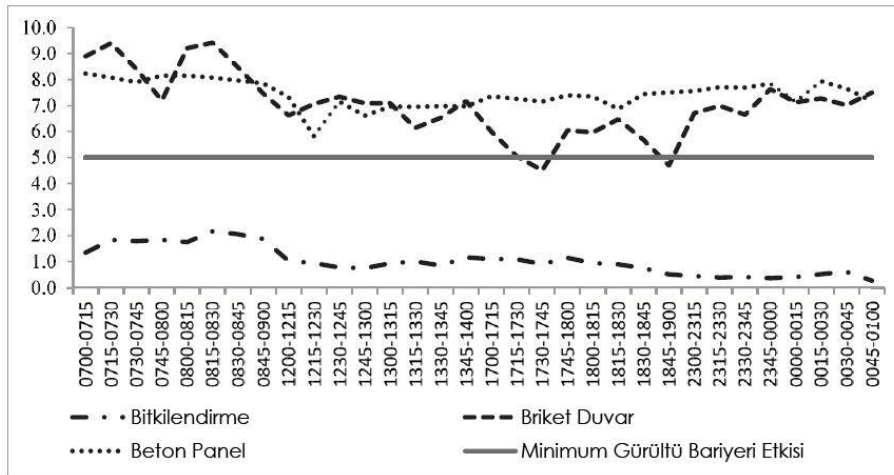
Karayollarında refüj üzerinde yapılan farklı uygulamalarda tespit edilen gürültü düzeyleri Şekil 3.19'da verilmektedir. Gürültü kaynağından 30 m uzaklıkta 76 dB olarak tespit edilen gürültü düzeyi; uzaklıkla gürültü düzeyinin azalmasına bağlı olarak, kaynaktan 120 m uzaklıkta 67 dB olarak tespit edilmektedir. Gürültü düzeyinin ağaçlandırma (bitkisel bariyer) uygulamasıyla 5 dB, beton bariyer uygulamasıyla ise 12 dB azaldığı belirtilmiştir. (Erdoğan & Yazgan, 2007) Yapısal bariyerlerin gürültü azaltımında daha etkin oldukları görülmektedir.



Şekil 3.19. Bitkisel ve yapısal gürültü bariyeri uygulamalarıyla tespit edilen gürültü düzeyleri
(Erdoğan & Yazgan, 2007)

Halim ve diğerleri; Malezya'nın Klang Vadisi kentindeki kentsel yerleşim alanları ve karayolları arasında yapılmış olan bitkisel bariyer, boşluklu beton blok duvar ve beton panel olmak üzere üç farklı gürültü bariyerinin gürültü kaybı değerlerine ilişkin bariyer etkinliklerini incelemiştir. (Halim & diğerleri, 2015) Gün boyunca alınan ölçümlerle bitkisel bariyer - beton panel – briket duvar uygulamalarının gürültü kaybı değerleri Grafik 3.18 üzerinde verilmiştir.

Grafik 3.18. Bitkisel ve yapısal gürültü bariyerleri performans karşılaştırması
(Halim & diğerleri, 2015)



Etkili bir gürültü bariyeri, kaynak-alıcı konumuna ve boyutlarına göre tipik olarak 5 dB(A) gürültü azalması sağlar ve bitkisel bariyerin bu değeri karşılamadığı görülmektedir. Ancak; gürültü kontrolünde, yapısal bariyerlere kıyasla bitkisel bariyer performansının düşük olmasına rağmen; bitkisel bariyerler, gürültünün algını etkileyerek gürültü nedeniyle duyulan rahatsızlığın azalmasını sağlayabilir.

Renterghem, görünür bitki örtüsünün gürültü rahatsızlığı odaklı olumsuz çevresel gürültü algısı üzerindeki etkileri incelemiştir. Maruz kalma seviyelerinin artmasıyla birlikte, görünen yeşilden elde edilebilecek gürültü algısındaki iyileşmenin daha büyük olduğunu göstermektedir. Kuş sesi, rüzgar kaynaklı bitki örtüsü sesleri ve su sesleri gibi doğal sesler; karayolu trafik gürültüsü için sınırlı enerjisel maskeleye potansiyeline sahiptir. Doğal sesler genellikle kendi başlarına rahatlatıcı olarak kabul edilir ve yakınlığını öne sürerek doğanın iyileştirici hareketini destekler. (Renterghem T. V., 2018)

Yapısal ve bitkisel bariyerlerin gürültü kontrolündeki rollerinin değerlendirilmesi ile bariyer uygulamalarındaki en etkili çözüm için; yapısal bariyerlerin malzeme performansı ile bitkisel bariyerlerin sürdürülebilirlik ölçütlerini karşılaması ve algısal yönlendirmelerinden faydalanılarak tasarımın yapılmasının avantajlı olduğu söylenebilir. Bu nedenle; doğal ve yapay malzeme kombinasyonları ile teşkil edilen; yapay malzemelerin akustik performansı ve doğal malzemelerin akustik, çevresel ve estetik özelliklerinden faydalanılarak bio-bariyer uygulamaları yapılmaktadır.

3.3.3.12. Bio-bariyerler

Bariyer niteliği

Bitkilendirmenin gürültü denetiminde etkin sonuç vermesi için uygulanacak alan derinliğinin yapı elemanı kullanımına göre fazla olduğu bilinmektedir. Geniş bir dikim şeridi için zeminde yeterli alan bulunmaması durumunda, bitkilerle desteklenerek inşa edilmiş bariyerler gürültüyü azaltabilir (Anderson, Mulligan, & Goodman, 1984). Kent içi alanlarda gürültü kontrolünde bitkisel bariyer uygulamaları için geniş alanlar bulunmaması nedeni ile bitkilerin işlevsel özelliklerinden, yapı elemanlarının ise kütle ağırlığından faydalanılarak gürültüye karşı önlem tasarımı yapılabilir.

Bio-bariyerler; bitkisel materyal ve yapı elemanlarının birlikte çalışma prensiplerini içeren entegre uygulamaları içerir. Bio-bariyerler; bitkilendirmeyi tasarımlarının ayrılmaz bir parçası olarak içeren yapılardır (Kotzen & English, 1999) ve bitkileri kendi yapılarına dahil etmek üzere tasarlanmışlardır (CEDR, 2017). Bio-bariyer uygulamalarıyla ilgili olarak farklı kaynaklarda farklı tanımlamalar kullanılmıştır. (Watts & Morgan, 2005) bu uygulamaları "canlı bitki örtüsü kullanılmış engeller"

olarak tanımlamış ve "vejetatif engeller" olarak isimlendirmişlerdir. (Abbas & diğerleri, 2011) ise "toprak çekirdek ve yüzeyde bitki örtüsünü kullanan serbest duran engeller" olarak tanımlamış ve "yeşil gürültü bariyerleri" olarak isimlendirmişlerdir. Yine (Abbas & diğerleri, 2011) tanımına göre yeşil bir gürültü bariyeri (bio-bariyer); trafik gürültüsünü azaltmak için toprak ve bitki örtüsünü kullanan bir mühendislik yapısıdır. Tanımlamalar değerlendirildiğinde; bio-bariyerler, vejetatif engeller ve yeşil gürültü bariyerlerinin aynı uygulama kapsamında oldukları görülmektedir.

Gürültüye karşı önlem olarak yapılaşmanın da çevre ile uyum içerisinde kurgulanması gerekmektedir. Çevresel faktörlerin etkisi ile şekillendirilen tasarımlar kullanıcı konforu için gerekli şartları sağlayacaktır. Yapılaşmanın artmasıyla olumsuzluklar gözlenen doğal yaşam ve dengenin de kontrol altında tutulabilmesi amacı ile gürültü kontrolünde kullanılan yapı elemanı ve uygulamaların bitkisel materyaller ile desteklenerek, bitkilerin çevresel koşulların iyileştirilmesini sağlayacak işlevsel özelliklerinden faydalanılarak öneriler getirilmesi avantajlı olacaktır.

Uygulama faktörleri

Yapı elemanı çeperinde bulunan bitkisel materyal, işlevsel fonksiyonlarını yerine getirmenin yanı sıra bariyer yüzeyinin yansıtıcı özelliklerini azaltır ve yutucu bir katman olarak görev alır. Bitkilendirme yöntemi ve kullanılacak bitki türü; kullanılacakları yüzey ve sistem gerekliliklerine göre seçilmelidir. Bitkilerin çevresel faktörler karşısındaki duyarlılık özellikleri ve bitki yetiştirme süreçleri dikkate alınmak üzere tüm şartlarda kullanılabilirler. Bio-bariyer uygulamalarında dikkate alınması gereken süreç değerlendirmeleri doğrultusunda tasarım kararları alınmalıdır.

Gürültü bariyerlerinin bitkilendirilmesine yönelik Hong Kong Hükümeti tarafından hazırlanan kılavuz kapsamında, bitkilendirilmiş gürültü bariyerleri tasarımlarıyla ilişkili planlama önerileri getirilmiş ve bariyer tasarımında; teknik mühendislik, trafik kontrolü gereksinimleri ve maliyet dışında, tasarım aşamasında; bariyer etkinliği, bakım, güvenlik ve sürdürülebilirlik faktörlerinin de göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmiştir (GovHK, 2012). Bio-bariyer uygulamalarında dikkate alınması gereken faktörler aşağıda verilmiştir.

Bariyer etkinliği;

- Tasarımın uygulanması için yeterli alan bulunması
- Önerilen tasarımın işlevini yerine getirmesi

- Gürültü bariyerlerinin görsel etkisinin indirgenmesi, yumuşatılması, hafifletilmesi
- Bitkilendirme uygulamasının bariyer ölçeğini kullanıcı algısına indirgemesi
- Bitkilendirme uygulamasının yerel karakter/manzara ile uyumu
- Bitkilendirme uygulamasının maliyet değerlendirmesi ile belirlenecektir.

Bakım süreci;

- Uzun vadeli bakım sürecinin değerlendirilmesi/bakım türü/bakım maddesi kullanımı
- Bitkisel materyalin çevre şartlarına dayanımı
- Bitkilendirme sürecinin sıklığı/maliyeti
- Bitki değişiminin uygulanabilirliği
- Bakım için güvenli erişimin sağlanması
- Bakım kılavuzunun oluşturulması doğrultusunda yürütülmektedir.

Güvenlik gereksinimi;

- Tasarımın yol kullanıcıları/bakım ekibi/trafik için güvenlik durumu
- Bitkilendirme ve bakım işlemleri için yeterli çalışma alanının temini ile karşılanabilir.

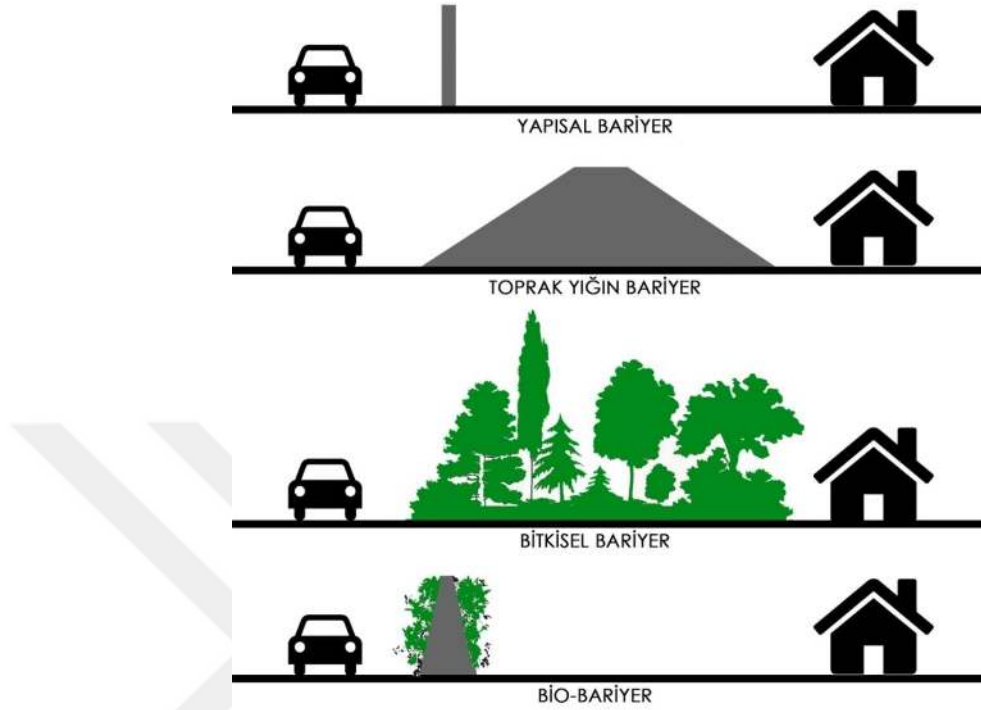
Sürdürülebilirlik niteliği;

- Sürekli değişim gerektirmeyen sürdürülebilir bitki türlerinin kullanımı
- Kullanılan bitki türünün sulama ihtiyacı/su tasarrufu
- Kullanılan bitki türünün bakım ihtiyacı
- Uygulama sisteminin dayanımı ile sağlanabilir.

Bariyer performansı

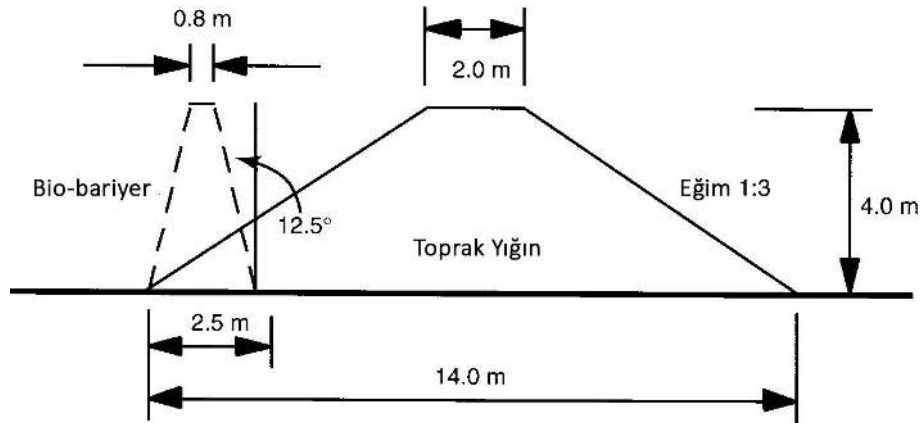
Bitkisel bariyerlerin, toprak yığın bariyerlere göre daha derin bir kuşakta teşkil edilebildiği bilinmektedir. Bio-bariyerler; doğal bir gürültü bariyerinin teşkil edilemeyeceği durumlar için bitkisel bariyerler ve toprak yığın bariyerlere bir alternatif olarak sunulmuştur. Bitki örtüsünü bir toprak yığınlar ile birlikte kullanıldığı biyolojik engeller, daha az yer gereksinimi ve doğal görünüşleri nedeniyle de kullanılmıştır (Ekici & Bougdah, 2003). Dik eğimleri sebebiyle gürültü kaynağına doğal malzemelere kıyasla daha yakın konumlanabiliyor olmaları bariyer performansını arttırmaktadır. Aynı zamanda eğik konumlanmış olan uygulamalar çoklu yansıma problemini ortadan kaldırmaktadır. Gürültü düzeyinde 5 dB azalma sağlayabilecek yapısal bariyer, toprak

yığın bariyer, bitkisel bariyer ve bio-bariyer uygulamaları için zeminde ihtiyaç duyulan alan ve yükseklik ihtiyacına yönelik yerleşim şeması Şekil 3.20 üzerinde verilmektedir.



Şekil 3.20. Yapısal, bitkisel, toprak yığın bariyer ve bio-bariyer yerleşim karşılaştırması

Bio-bariyerler; doğal gürültü bariyeri tasarımları arasında, zeminde en az alan kaplayarak etkili sonuç verebilmektedir. Zeminde 14 m genişliğinde yer kaplayan bir toprak bariyer performansı, 2.5 m genişliğinde yer kaplayan bir bio-bariyer ile karşılanabilir (Şekil 3.21). Toprak yığın bariyere kıyasla daha dik konumlanmış olan bio-bariyerler; kaynağa yakınlık durumu ile daha etkili performans göstermektedirler.



Şekil 3.21. Toprak yığın bariyer ve bio-bariyer boyutu karşılaştırması

(Kotzen & English, 1999)

Bio-bariyer tasarımı gürültü düzeyindeki azalma; yapısal malzeme özelliklerine ve bitkisel materyal niteliğine göre belirlenmektedir. Malzeme seçimi aynı zamanda bariyer performansını algısal olarak da etkilemektedir.

Hong ve Leon; gürültü rahatsızlığı, estetik değerler ve bariyer türlerinin öngörülen gürültü zayıflamasının da dâhil olmak üzere algısal faktörlerin, genel çevre kalitesinin değerlendirilmesine katkısını farklı gürültü seviyelerinde incelemiştir. Katılımcılara yalnızca görsel, yalnızca işitsel ve görsel-işitsel deneyler ile beton, alüminyum, ahşap, yarı saydam ve vejetatif bariyerlerin algısal karşılığı deneyimlendirilmiş ve bir bariyer cephesini örtmek için bitki örtüsünün kullanılmasının, yalnızca algılanan genel çevre kalitesini değil aynı zamanda algılanan gürültü bariyer performansını artırmanın pratik bir yolu olabileceği belirlenmiştir. Çalışmanın; çevresel gürültü bariyeri tasarımı için en uygun çözümleri ve stratejileri bulmak amacıyla bariyer malzemelerinin hem akustik hem de görsel algılarını anlamak için yararlı yaklaşımlar sağlayabileceği belirtilmiştir. (Hong & Jeon, 2014)

Joynt ve Kang; çevresel gürültü bariyerlerinin malzeme seçiminin, bariyer performansını algısal olarak etkileyip etkilemediği araştırmışlardır. Beton, metal, ahşap, saydam ve vejetatif engeller üzerinde yapılan çalışma sonucu; tamamen önyargılara dayanarak, beton bariyerin en etkili gürültü zayıflatıcı olduğu, ardından sırasıyla metal ve ahşabın etkili olduğu tahmin edilmiştir. Yanıt verenler, değiştirilmiş görsel bir uyarıcıya ve sabit bir ses uyarıcısına maruz bırakıldığında; duyarlılık etkileşimi, katılımcıların daha katı ve opak amaçlı yerleşik bariyerlerle daha fazla, şeffaf ve vejetatif bariyerlerde daha az etkinlik olduğunu algılamış ve estetik görünüm ile gürültü zayıflama algısı arasında ters bir ilişki bulunmuştur. Bu nedenle, bu araştırma mevcut mantığı destekleyerek; kaynak ve alıcı arasındaki görüş hattını engellemek için en iyi gürültü azaltma algısını elde etmek için opak malzemeleri kullanılması gerektiğini belirlemiştir. (Joynt & Kang, 2010)

Elde edilen bu sonuca göre; bariyer performansının yüksek algılandığı opak malzemelerin, estetik açıdan uygun bulunan şeffaf ve vejetatif malzemeler ile birlikte uygulanması; görsel ve işitsel algı talebini karşılayabilir. Bio-bariyerler; gürültünün algısını etkileyerek gürültü nedeniyle duyulan rahatsızlığın azalmasını da sağlayabilir.

4. BİO-BARİYER TASARIMI VE UYGULAMALARI

4.1. Bio-Bariyer Tasarım İlkeleri

Bio-bariyerler; bitkisel materyal ve yapı elemanlarının birlikte çalışma prensiplerini içeren entegre uygulamaları içerir; yapı malzemesi ve bitkisel materyal olmak üzere iki ana katman bileşenden oluşur. Bio-bariyer uygulamalarında; yapısal eleman ve bitkisel materyal katmanlarının birlikte kurgulanmasına yönelik yapım sistemleri kullanılmaktadır.

Gürültü bariyeri tasarımları bazı akustik, fizyografik ve geometrik parametrelere bağlı olarak şekillenmektedir. Bariyer tasarımlarını şekillendiren bu parametreler, yapısal gürültü bariyerlerinden farklı olarak, bio-bariyer uygulamalarında; canlı bitkisel materyal katmanının yaşam döngüsünü sürdürmesine yönelik ihtiyaçlarının karşılanmasında da etkilidir. Tüm parametrelerin birlikte değerlendirilerek en uygun çözümün uygulanması gerekmektedir.

Bariyerlerin akustik parametreleri olarak sayılan sesin kaynak tipi, sesin frekansı ve sesin düzeyi, gürültü kaynağına ilişkin verilerin analiz edilmesi ile karşı konulacak ses enerjisinin tanımlanmasını; bariyerlerin fizyografik parametreleri olarak sayılan havanın moleküler yutuculuğu, atmosfer koşulları ve zemin türü, çevresel verilerin analiz edilmesi ile karşı konulacak ses enerjisinin açık havadaki hareketinin kontrol edilmesini sağlayarak ihtiyaç duyulan bariyer performansının belirlenmesine olanak tanır. Akustik ve fizyografik parametreler tüm bariyer tasarımlarında ortak analiz verilerini sunmaktadır.

Bariyerlerin geometrik parametreleri olarak sayılan, bariyer konumu, yapısı ve malzemesi; tüm bariyer tasarımlarında ihtiyaç duyulan bariyer performansının karşılanmasında dikkate alınmaktadır. Tüm bariyer tasarımları için ihtiyaç duyulan bariyer performansının belirlenmesine olanak tanıyan akustik ve fizyografik parametrelerden farklı olarak; geometrik parametreler; ihtiyaç duyulan bariyer performansının karşılanmasının yanı sıra, yapısal elemanın bitkisel materyal katmanı ile etkileşimindeki dayanımının sağlanmasında ve bitkisel materyal katmanının ihtiyacının karşılanmasında da etkilidir.

Bio-bariyer konumu; kaynak-alıcı ilişkisinin düzenlenmesinin yanı sıra, bitkilendirme uygulama kararlarının alınmasında da etkilidir. Güneş ve rüzgâr yönü gibi etkenler bitki türü seçimi ve bitkilendirme sistemi tercihinde rol oynamaktadır.

Bio-bariyer yapısı; bariyerin konumlanacağı zemin yüzey alanı, kullanılacak bitki türü ve bitkilendirme sistemine bağlı olarak belirlenmektedir. Bio-bariyer uygulamalarında bitkisel materyal katmanı; toprak dolgulu yüzey ya da yapı elemanları üzerinde kurgulanabilir. Bio-bariyer yapısal eleman katmanı tercihinin yapılmasında konumlanacağı yüzey alanının genişliği etkilidir. Bitkisel materyalin yapısal eleman ile entegre edilen kurgusunda; bitki bariyer yüzeyine asılabilir, sarınabilir, duvar yapısı içinde ya da duvar yüzeyinde yetiştirilebilir. Tercih edilen bitki türüne bağlı olarak belirlenen bu seçimin uygulanmasında, bio-bariyer yapısının biçimsel özellikleri etkilidir. Bariyer yüzeyinde bitkilerin tutunması için destek elemanları kullanılabilir ya da bariyer yapısı içinde bitkilendirme için dikim olukları bırakılabilir. Bariyerin konumlanacağı yüzey alanı sınırlarında belirlenen bariyer yapısında, konum verileri gözönüne alınarak tercih edilen bitkisel materyalin yapısal malzeme ile entegre çalışması için uygun biçimsel düzenlemeler kullanılmalıdır.

Bio-bariyer tasarımlarında malzeme seçimi; yapısal eleman ve bitkisel materyal katmanlarının etkileşimine bağlı olarak belirlenmektedir. Bir gürültü bariyerinden ötürü sağlanan gürültü azalmasını, bariyerin yüzey özellikleri ve ses iletim kaybı değerleri etkilemektedir ve bu faktörler bariyer yapımında kullanılan malzemelerin nitelikleri ile ilişkilidir. Bir gürültü bariyerinin etkili sonuç vermesi için minimum 20 kg/m² kütle ağırlığına sahip olması gerekir ve bir bio-bariyerin de bu değeri sağlaması beklenir. Bitkisel materyal, kısıtlı alanlarda gürültü kontrolünde tek başına yeterli sonuç vermediğinden; bio-bariyer uygulamalarıyla yapısal elemanların kütle ağırlığından faydalanılarak yeterli bariyer performansı sağlanmaktadır. Yapısal elemanlar ile birlikte uygulanan bitkisel materyal katmanı ile birlikte bitki yetiştirme ortamı niteliği de bariyer performansına etki etmektedir ve bio-bariyer etkinlikleri, tüm katmanların performans verilerinin birlikte değerlendirilmesi ile belirlenmelidir. Bitkinin topraklı, topraksız, cephede ya da zeminde bitkilendiriliyor olması aynı zamanda yüzey yükünü de etkilemektedir. Yapı malzemesin tercihinde; yük karşısındaki dayanım ve bitki katmanının bakım süreçleri rol oynamaktadır.

Bitkilerin yaşam döngüsünü etkileyen; güneş alma açısı, rüzgar yönü, yetiştirme ortamı niteliği, sulama ihtiyacı vb. faktörlere bağlı olarak yapısal eleman ve bitkisel materyal seçim süreçleri birlikte yürütülmelidir. Bitki seçiminde bitkinin uygulama alan iklim koşullarına uygunluğu, uygun toprak yapısının belirlenmesi, gübreleme, sulama sistem kurgusu vb. bilgiler için bitki uzmanı desteği alınmalıdır.

Bio-bariyer tasarımlarını etkileyen katmanlaşma özellikleri aşağıdaki başlıklarda belirtilmiş olup; yapısal eleman ve bitkisel materyal kompozisyonları için başvurulabilecek yöntemlerin belirlenebilmesi için bitkisel materyal – yapı malzemesi katmanlarının ilişkisi değerlendirilmiş, bu katmanlaşma kurgusunun uygulandığı bio-bariyer yapım sistemleri üzerine çalışılmıştır.

4.2. Bio-Bariyerlerde Bitkisel Materyaller

Bio-bariyer uygulamalarında kullanılacak bitki türü; kullanılacakları yüzey ve sistem gerekliliklerine göre seçileceklerdir. Bu sistemlerde bitkiler dolu kütleli yapı elemanlarında kaplama, boşluklu yapı elemanlarında ise panel işlevi göreceklerdir. Bitkilendirilmiş yapı elemanının gürültü azaltım değeri ile birlikte kullanılan bitkinin nitelikleri de etkili olacaktır.

Bitki türlerinin seçiminde ve yerleşiminde; bitkilerin çevresel faktörler karşısındaki duyarlılık özellikleri dikkate alınmalıdır. Eğimli yüzeylerde güneş alma açısı, hâkim rüzgâr yönü ve hızı ile ilişkili olarak kullanılabilir bitki türleri; büyüme mevsiminin başlangıcı, süresi ve bitişi, potansiyel buharlaşma ve dolayısıyla toprak nemi dengesi, özellikle de kuraklığın yoğunluğu ve günlük sıcaklık dalgalanmalarına bağlı olarak etkilenmektedir (Kotzen & English, 1999).

Bitkisel materyalin uygulanacağı cephenin konumu, sıcaklık etkisiyle buharlaşma miktarına bağlı olarak su ihtiyacını arttıracığından önemlidir. Bitki seçiminde ortam sıcaklığına uyum gösterecek türler tercih edilmelidir. Özellikle gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkının çok olduğu iklimlerde, değişiklikler karşısındaki dayanımı yüksek türler seçilmelidir. (Ekren, 2016) Mevsimsel değişim ve yön faktörlerinin, bitki yetiştirme ortamına olan etkileri Tablo 4.1 üzerinde incelenmiştir.

Tablo 4.1. *Bariyerin eğim yönünün bitki örtüsüne etkisi*
(Kotzen & English, 1999)

Mevsim	Güney Yönü Etkileri	Kuzey Yönü Etkileri
Kış	Yüksek sıcaklık değişimi sebebi ile donma-çözünme değişimleri gözlemlenir.	Sürekli soğuk ve donma gözlemlenir ve kar bitki örtüsünü koruma altına alır.
İlkbahar	Hızlı toprak ısınması sebebi ile toprakta nem eksikliği gözlemlenir ve hızlı büyüme gerçekleşir.	Toprak nemi eksikliği gözlenmez ancak büyüme mevsimine daha geç geçiş yapılır.
Yaz	Yüksek yüzey sıcaklıkları sebebi ile uzun süreli nem eksikliği gözlemlenir.	Makul yüzey sıcaklıkları sebebi ile uzun süreli nem eksiklikleri önlenmiş olur.
Sonbahar	Büyüme mevsimi düşük sıcaklıklı aylara kadar uzanır. Toprak nemi eksikliğinin gözlenmesi daha uzun süre alır.	Büyüme mevsimi ve toprak nemi açığı daha erken sonlanır.
* Diğer yönlerin etkisi kuzey ve güney arasında orta düzeyde olacaktır. * Hâkim rüzgâr koşulları dikkate alınmalıdır. * Güneş alma açısı; kış için 75 °, bahar için 55 °, yaz için 30 ° yatay olarak alınmıştır.		

Işık miktarı bitkilerin gelişim sürecini etkilemektedir. Bitkiler, fotosentez yapmak, büyümek, çiçek açmak ve uygun şekilde gelişmek için belirli aydınlatma miktarları ve niteliklerine ihtiyaç duymaktadırlar (IMAP, 2014). Güneş ışığına ihtiyaç duyan bir bitki türü, kent içi alanlarda yüksek yapılaşmanın oluşturduğu gölge alanlar nedeniyle ihtiyaçlarını karşılayamayacaktır. Bu nedenle bitki türü seçiminde güneş geliş açısı analiz edilmiş olmalıdır (Ekren, 2016).

Rüzgâr şiddetinin etkili olduğu cephelerde uygulanacak sistemlerde, dayanıklı yaprak ve güçlü kök yapısına sahip bitki türlerinin tercih edilmesi gerekmektedir (Ekren, 2016). Bitkiler gerekli alanlarda cepheye sabitlenerek koruma altına alınabilir (Kotzen & English, 1999). Rüzgar bitkiler için her zaman risk teşkil etmemektedir. Yapraklar etrafındaki hava hareketi mantar oluşumunu önlemeye yardımcı olduğundan önemlidir (IMAP, 2014).

Bio-bariyerlerin sürdürülebilirliği; bitki türlerinin toprak türüne uygunluğu, besin gereksinimi, birlikte kullanılan bitki türlerinin etkileşimi ve bakım süreci etkenlerine bağlıdır (Kotzen & English, 1999).

Bitkiler besinlerini güneş ışınları, su ve toprak yardımıyla sağlamaktadır. Bu nedenle; bariyer konumuyla ilişkili bitki türünün seçilmesi, uygun sulama ve beraberinde gerekli ise drenaj sisteminin kurulmuş olması ve bitki yetiştirme ortamının bitki ihtiyacını destekleyecek nitelikte olması önemlidir. Yetiştirme katmanı; verimlilik,

asitlik, tuzluluk ve organik içerik açısından analiz edilmelidir. (Kotzen & English, 1999).

Bio-bariyer tasarımı yapısal düzenlemelerin, bitkilerin yağmur almasını engellememesi ve köklerini kapamamasına dikkat edilmelidir (Kotzen & English, 1999). Su ihtiyacı doğal yollardan karşılanamıyorsa, sulama yapılması esastır. Bariyer yüksekliği nedeni ile periyodik sulama mümkün olmayacağından, ihtiyacın karşılanması için sulama sistemlerinden faydalanılmaktadır.

Sulama sistemlerinin temel amacı bitkinin kök bölgesinde optimum su ihtiyacının sürdürülmesinin sağlanmasıdır. Tüm sulama sistemlerinde temel olarak, toprağa eklenecek su ve besin miktarları ve sulama zamanları kullanılan bitki türüne bağlı olarak belirlenmektedir. Sulama sistemleri kök bölgesindeki nemin sürekli izlenmesi ve otomatik olarak dengelenmesi için enerji tüketiminde bulunmaktadır. (Ottel , 2011)

Bitki yetiştirme ortamına verilen suyun ihtiyacın üzerinde olması durumunda, fazla su tepsiler yardımıyla toplanarak sulama sistemine geri kazandırılabilir ya da drenaj sistemi ile yapı dışına atılabilir. (IMAP, 2014)

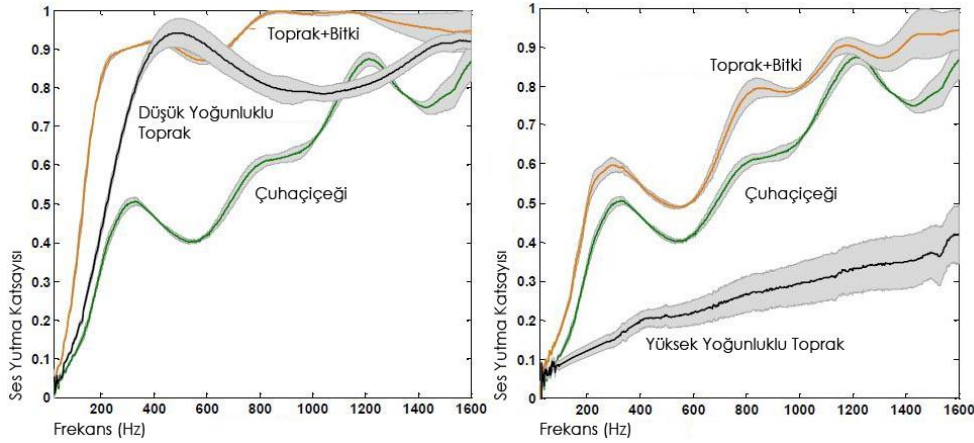
Bio-bariyer uygulamalarında kullanılan tüm bitki türlerinin birbiri ile uyumu önemlidir. Birlikte varlığını sürdürebilecek türler tercih edilmelidir. Bitkiler için; yabancı ot kontrolü, budama, gübreleme uygulanması ve  l  bitkilerin değiştirilmesi gibi uygun bir bitki bakım süreci planlanmalıdır. (Kotzen & English, 1999)

Bio-bariyer uygulamalarında bitkilerin akustik performansının değerlendirilmesi üzerine; bitkinin yaprak özellikleri ile bulunduğu yetiştirme ortamının nitelikleri dikkate alınmalıdır.

Horoshenkov ve Khan; toprak yoğunluğunun ve bitki yaprak alanının farklı frekanslarda ses yutma değerlerini incelemişlerdir. Dört farklı yaprak alanı üzerinde yapılan çalışma sonucunda en geniş yaprak alanına sahip olan ‘ uha ı eği’nin diğer türler arasında en yüksek ses yutuculuk değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Farklı yaprak alanlarına sahip bitki türleri üzerinden alınan ölçümlerle yüzey alanı ile ilişkili ortalama ses yutma değeri belirlenmiş olup; yaprak alanının artması ile bitkinin ses yutma performansının yükseldiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda, en yüksek yutuculuğa sahip olan ‘ uha ı eği’ bitkilendirmesinin farklı yoğunluktaki topraklar ile birlikte uygulandığında elde edilen ses yutma değerleri doğrultusunda; gözenekli yapıdaki düşük yoğunluklu toprağın ses yutuculuk özelliğinin yüksek yoğunluklu toprağa göre yüksek olduğu görülmektedir. (Horoshenkov & Khan, 2011)

Aşağıdaki grafikte farklı yoğunluklu toprak uygulamalarının ses yutma katsayıları verilmiştir (Grafik 4.1). Bio-bariyer uygulamalarında bitkilendirme ortamı ve bitki türünün entegre etkinlikleri görülmektedir.

Grafik 4.1. Farklı yoğunluklu toprak uygulamalarının ses yutma katsayıları
(Horoshenkov & Khan, 2011)



4.3. Bio-Bariyerlerde Yapı Malzemeleri

Bitkisel materyal, sulama ihtiyacı olan ve sürekli gelişen canlı bir katman oluşturduğundan; yapısal elemanlar üzerinde bitkisel materyalin etkilerinin belirlenmesi doğrultusunda, bio-bariyer yapımında kullanılabilecek yapı malzemeleri incelenmiştir. Malzeme özelliklerinin dış mekân dayanımı ve bitkisel materyal ile etkileşimi, bio-bariyer uygulamalarında kullanılabilirliğini belirlemektedir. Bu kapsamda; gürültü bariyerlerinde malzeme seçimi başlığında çalışılmış olan yapı malzemelerinin kullanım faktörleri bölümlerinden faydalanılmıştır.

- Ahşap malzemeler; ısınmıyor olması bitki yetiştirme koşullarının sağlanmasında avantajlıdır. Ancak ahşap malzemenin nem karşısında çürüme riski bulunmaktadır. Genleşme ve büzülme eğiliminde olan ahşap bariyerdeki derz noktalarından bitkisel materyalin sızması ile oluşacak boşluklarla bariyer etkinliği yitirilebilir. Gerekli bakımlar yapılmadığında kurtlanma ve kemirgenlerin etkisiyle malzeme zarar görebilir. Ahşap malzeme sürekli bakım gerektirmektedir ve bakım dönemlerinde bitkilerin kaldırılması gerekeceğinden zorluk teşkil edecektir.
- Metal malzemeler; ısınmıyor olması bitki yetiştirme koşullarının sağlanmasında dezavantajlıdır. Kullanılması durumunda paneller bitki

örtüsü yardımıyla güneş ışınlarından korunmalıdır. Metal malzemenin, nem karşısında paslanma riski bulunmaktadır.

- Beton malzemeler; ısınıyor olması bitki yetiştirme koşullarının sağlanması için önlem gerektirmektedir. Yeterli kütle ağırlığı, akustik verimlilik, sağlamlık, iklim koşullarına uygunluk ve düşük bakım maliyeti gibi etkenler sebebi ile bariyer yüzeyi topraklı sistemleri taşıyabilir, bitkilendirmeye uygundur ve malzeme performansı bitkisel materyal açığını kapayacaktır. Kütle ağırlığı ile toprak ve sulama kaynaklı nem ve tuza karşı kontrol sağlanmalıdır.
- Plastik malzemeler; şekillendirilebilir özellikleri ile bariyer formu dikim oluğu şeklinde üretilebilir. Hafif özellikleri sebebi ile istenilen yapıya monte edilebilirler. Şeffaf plastik malzemeler, bitkiler ile kullanıldığında, bitkilerin opak yapıları görsel sürekliliği bozacağından; bitkilerin şeffaf yüzeyler üzerinde kullanımı, şeffaf bariyer kullanım tercihinin aykırı bir seçim olacaktır.
- Cam malzemeler; bitkiler ile kullanıldığında, bitkilerin opak yapıları görsel sürekliliği bozacağından; bitkilerin şeffaf yüzeyler üzerinde kullanımı, şeffaf bariyer kullanım tercihinin aykırı bir seçim olacaktır.
- Blok malzemeler; iyi bir uygulamayla duvar stabilitesinin sağlanması ile malzeme performansı, vadeli istikrar ve bakım gerektirmeyen hizmetler göz önüne alındığında avantajlıdır. Blok eleman ve harç yapısında; toprak ve sulama kaynaklı nem ve tuza karşı kontrol sağlanmalıdır.
- Kompozit malzemeler; çok katmanlı yapılarıyla performans düzenlemelerine olanak tanınması ve her bir bileşenin davranış faktörleri kapsamında ihtiyaca yönelik olarak üretilebilir olması nedeniyle tüm şartlarda kullanılabilirler. Genellikle beton bazlı malzemelerden üretiliyor olması; malzemeyi beton bariyerlerde olduğu gibi bio-bariyer uygulamalarında avantajlı kılmaktadır.
- Geri dönüşümlü malzemeler; bio-bariyer uygulamasının farklı katmanlarında kullanılabilirler. Bitki dikim ortamı olarak eski lastiklerin bölümleri, bitki yetiştirme ortamı için gübre haline dönüştürülen evsel atıklar kullanılabilir. Kimyasal bileşenlerin bitkilere ve yetiştirme ortamına zarar vermeyecek olması doğrulanmalıdır.

- Akustik malzemeler; sesin yutulmasını sağlayan gözenekli yapıları bitki ve toprak dolgu nedeniyle tıkanabilir ve malzeme etkinliğini yitirebilir.

Bio-bariyer uygulamalarında kullanılabilecek yapı elemanı tercihlerinde malzemelerin nitelikleri dikkate alınmalıdır. Yapı malzemelerinin nitelikleri incelendiğinde özetle aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Beton, blok, plastik malzemeler uygulanabilir niteliktedir.
- Ahşap malzemeler, bakım ve dayanım faktörleri nedeniyle önlem gerektirir.
- Metal malzemeler, güneş ışınlarına karşı korunduğu durumda uygulanabilir.
- Şeffaf plastik ve cam malzemelerin bitkisel materyal ile kaplanması, malzemenin kullanım amacına aykırıdır.
- Endüstriyel üretim sonucu elde edilen malzemeler bileşenleri doğrultusunda ihtiyaca yönelik üretilebilir ve kullanılabilir.

4.4. Bio-Bariyer Yapım Sistemleri

Bio-bariyer uygulamalarında, yapısal elemanların bünyesinde bitkiler için yetiştirme ortamı sağlanmasına yönelik kullanılan yapım sistemleri; çeşitli yöntemler ile uygulanabilir. Bu kapsamda, bio-bariyer yapım sistemleri ile ilgili çalışmış olan kaynaklar incelenmiş ve uygulama yöntemleri ile ilgili içerikler derlenmiştir.

(Farnham & Beimborn, 1990); bitkiler ve duvar elemanlarının entegre uygulamalarını aşağıdaki başlıklarda incelemişlerdir. Gürültü bariyeri üzerinde bitkiler için yetiştirme ortamı sunan bu uygulamalar bio-bariyerler kapsamında ele alınmıştır.

- Yaşayan Bariyerler
- Dikim Oluklarında Bitkilendirme
- Duvar Yüzeyinde Bitkilendirme

(Kotzen & English, 1999), çalışması kapsamında; biyolojik bariyerleri, tasarımın ana yapım ilkeleri doğrultusunda aşağıdaki başlıklarda sınıflandırmışlardır.

- A-Çerçeve ve Düşey Çelikten Üretilmiş Bio-Bariyerler
- Kutu Duvar Bio-Bariyerler
- Söğüt Örgüsü Bio-Bariyerler
- Yığın Bio-Bariyerler

(Watts & Morgan, 2005); "vejetatif engeller" isimlendirmesiyle ifade edilmiş ve "canlı bitki örtüsü kullanılarak yapılmış bariyerler" olarak tanımlanmış bariyer türü kapsamında aşağıdaki uygulamalar açıklanmıştır.

- Söğüt Örgüsü Bariyerler
- Sarmaşık Kaplı Bariyerler

(Thompson & Sorvig, 2008); yeşil duvarlar ile yaşayan dikey yapılar oluşturulması ile ilgili olarak bitkilendirmeye elverişli duvar yapım sistemleri ile ilgili uygulamaları belirtmişlerdir. Yeşil duvar yapım sistemlerinde aşağıdaki modüller kullanılabilir. Uygulamalar bitkilendirilebilir duvar strüktürleri oluşturduğundan bio-bariyer uygulamaları kapsamında ele alınmıştır.

- Duvar Blokları
- Beşik Duvarlar
- Çerçeveli Bloklar
- Oluklu Bloklar
- Gabion Duvarlar
- Toprak Dolgulu Kafesler
- Hücre Bloklar
- Kum Torbaları

(Bendtsen, 2009); gürültü bariyeri işlevli farklı uygulamaları örneklendirmişlerdir. Bariyer işlevli uygulamalardan; bariyer yapısında bitkilendirme ortamı oluşturulması nedeniyle bio-bariyer yapım sistemi kapsamında ele alınan başlıklar aşağıda verilmektedir.

- Desteklenmiş Toprak Dolgu
- Desteklenmiş Toprak Duvar
- Bitkilendirilmiş Bariyer

(HOSANNA, 2009), “Doğal ve Yapay Yolların Optimize Edilmiş Kombinasyonları ile Sesin Bütünsel ve Sürdürülebilir Bir Şekilde Azaltılması (HOListic and Sustainable Abatement of Noise by optimized combinations of Natural and Artificial means)” projesi kapsamında; dış mekanlarda bitki örtüsü, toprak, diğer doğal malzemeler ve geri dönüştürülmüş malzemelerin yapay elementlerle birlikte en iyi şekilde kullanılmasıyla yol ve demiryolu trafiği gürültüsünü azaltılması üzerine çalışılmış ve yenilikçi gürültü bariyeri uygulamaları üzerine öneriler getirilmiştir. Proje kapsamında geliştirilmiş olan; yenilikçi ve çevre dostu bariyer önerilerinden; bariyer yapısında bitkilendirme ortamı oluşturulması nedeniyle bio-bariyer yapım sistemi kapsamında ele alınan başlıklar aşağıda verilmektedir.

- Gürültü Bariyerlerinde Toprak ile Bitkilendirme Sistemleri Kullanımı

▫ Bariyer Üzerinde Bitkisel Tepe Profilleri

(Wong & diğerleri, 2010); bina duvarlarındaki dikey yeşil sistemlerin akustik değerlendirilmesini belirlemek üzere, duvar yapıları üzerine uyguladıkları farklı dikey yeşil sistemlerin etkinliğini ölçmüşlerdir. Yapısal duvar elemanı üzerinde yapılan bitkisel uygulamalar aşağıda verilmiştir. Bitkilendirme sistemi uygulamaları yapısal elemanlar üzerinde bitki yetiştirme ortamı oluşturduğundan bio-bariyer uygulamalarında ele alınmıştır.

- Kablo Örgü Sistem
- Kafes Panel Sistem
- Dikey Modül Sistem
- Yatay Modül Sistem
- Açılı Modül Sistem
- Keçe Katmanlı Sistem

(GovHK, 2012); gürültü bariyerleri üzerinde bitkilendirilmiş duvar paneli uygulamaları incelenmiştir. Bu uygulamalar bitkiler için yetiştirme ortamı yaratılması üzerinde duvar yüzeyindeki konstrüksiyon uygulamalarını kapsadığından bio-bariyer uygulamaları kapsamında ele alınacaktır. Gürültü bariyerleri üzerinde bitkilendirme uygulamaları için aşağıdaki sistemlerin avantajlılık durumu değerlendirilmiştir. Bitkilendirme sistemi uygulamaları yapısal elemanlar üzerinde bitki yetiştirme ortamı oluşturduğundan bio-bariyer uygulamalarında ele alınmıştır.

- Modüler Paneller İçinde Çalılar
- Metal Kafes Üzerinde Tırmanıcı Bitkiler
- Duvar Yüzeyinde Tırmanıcı Bitkiler

(Yamamoto, 2015); bariyer tepe profili içerisindeki toprak dolgu ile bitkilendirme uygulamasının performans değeri araştırılmıştır. Bitkilendirme sistemi uygulamaları yapısal elemanlar üzerinde bitki yetiştirme ortamı oluşturduğundan bio-bariyer uygulamalarında ele alınmıştır.

(Lacasta & diğerleri, 2016); modüler dikey yeşil sistemler ile bitkilendirilmiş dikey bariyer yapısının performans değeri araştırılmıştır. Bitkilendirme sistemi uygulamaları yapısal elemanlar üzerinde bitki yetiştirme ortamı oluşturduğundan bio-bariyer uygulamalarında ele alınmıştır.

(Thomazelli & diğerleri, 2016); modüler sistem dikey bahçelerin ses yutma ve yalıtım değerlerinin deneysel sonuçları belirlenmiştir. Bitkilendirme sistemi

uygulamaları yapısal elemanlar üzerinde bitki yetiştirme ortamı oluşturduğundan; jeotekstil cepler içinde bitkilendirme uygulamaları, bio-bariyer uygulamalarında ele alınmıştır.

(CEDR, 2017), raporu kapsamında; bitkisel materyalin toprak dolgulu destek yapılarıyla birlikte kullanıldığı “yeşil bariyer” sistemlerinden; bariyer yapısında bitkilendirme ortamı oluşturulması nedeniyle bio-bariyer yapım sistemi kapsamında ele alınan başlıklar aşağıda verilmektedir.

- Desteklenmiş Toprak Dolgular
- Bio-Bariyerler
- Dikey Yeşil Duvarlar

Akademik çalışmalarda; bio-bariyer yapım sistemi başlıklarının tamamının hiçbir kaynakta bütünsel olarak işlenmediği görülmektedir. Kaynak içeriklerinde bio-bariyer yapım sistemleri gruplandırmalarına ilişkin farklılıklar bulunmaktadır; aynı tanımdaki bio-bariyer uygulaması, farklı kaynaklarda farklı başlıklar dâhilinde ele alınmıştır.

Akademik çalışmalarda verilen bio-bariyer yapım sistemi başlıklarının tanımları karşılaştırılarak, aynı tanımdaki uygulamalar ortak başlıklarda toplanmıştır. Bio-bariyer yapım sistemi gruplandırması ve tanımlamalarının yapılmasında referans alınan kaynak-sistem-tanım bilgileri Tablo 4.2 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Bio-bariyer yapım sistemlerinin gruplanması

(Farnham & Beimbom, 1990), (Kotzen & English, 1999), (Watts & Morgan, 2005), (Thompson & Sorvig, 2008), (Bendtsen, 2009), (HOSANNA, 2009), (Wong & diğerleri, 2010), (GovHK, 2012), (Yamamoto, 2015), (Lacasta & diğerleri, 2016), (Thomazelli & diğerleri, 2016), (CEDR, 2017)

Kaynak	Bio-Bariyer Yapım Sistemleri											
	Dikey Bio-Bariyerler		Oluklu Bio-Bariyerler		Çerçevesiz Bio-Bariyerler		Destekli Bio-Bariyerler		Yaşayan Bio-Bariyerler		Yığın Bio-Bariyerler	
	İsim	Tanım	İsim	Tanım	İsim	Tanım	İsim	Tanım	İsim	Tanım	İsim	Tanım
(Farnham & Beimbom, 1990)	Duvar Yüzeyinde Bitkilendirme	Bitkilerin duvar yüzeyine destek elemanları ile bağlanması ya da yüzeye sarılmasıyla elde edilir.	Dikim Oluklarında Bitkilendirme	Duvar yapısında dikim olukları tasarlanır, oluklar toprak ile doldurulur ve bitkilendirme uygulaması yapılır.					Yaşayan Bariyerler	Duvar, toprak ve bitkiler kullanılarak tasarlanır. Toprakta yetişen söğüt bitkisinin dalları filizlenir, toprağı örter ve duvar çit görüntüsünü alır.		
(Kotzen & English, 1999)					A. Çerçeve ve Dikey Çelikten Üretilmiş Bio-Bariyerler	Ahşap taşıyıcı sistem arasına çelik levhalar yerleştirilip, üzerine kauçuk bağlarla sabitlenen bitkilendirme uygulaması yapılmıştır.	Kum Duvar Bio-Bariyerler	Taşıyıcı sistem arasında desteklenmiş çelik ağ çerçevesinin içerisinde bulunan toprak dolguda dikim yapılması ile oluşturulur.	Söğüt Örgülü Bio-Bariyerler	Taşıyıcı çitlerle desteklenmiş bir sepet yapısının içinde toprakla doldurulması ve yüzeyinin canlı söğüt dalları ile dokunmasıyla oluşturulur.	Yığın Bio-Bariyerler	Birbirleri üzerine istiflenmiş prekast ya da çelik elemanlar ile oluşturulan ceplerde bitki dikimi yapılmasıyla oluşturulur.
(Watts & Morgan, 2005)	Sarmaşık Kaplı Bariyerler	Ses yutucu nitelikteki duvar malzemesi yüzeyine sarmaşık sarılması ile elde edilir.							Söğüt Örgülü Bariyerler	Toprak dolgu üzerinde örülmüş söğüt dallarının gelişmesi ile elde edilir. Toprak dolgu yerine yutucu malzeme ya da bir yüzeyde ahşap kaplama kullanılabilir.		
(Thompson & Sorvig, 2008)											Yeşil Duvar Yapım Sistemleri	Modül içinde ve modüller arası boşluklarda bitkilenmeye elverişli yapıların üst üste istiflenmesi ile elde edilirler.
(Bendtsen, 2009)	Bitkilendirilmiş Bariyer	Yapısal bariyer yüzeyinde çelik kafes ya da ağ gibi uygulamalar yapılarak bitkilerin sarılması için ortam oluşturulur.					Desteklenmiş Toprak Dolgu	Toprak dolgu eğimli olarak açıklıklara sahip çelik çerçevelerle desteklenir ve gözenekli plastik ağ ile toprak çerçeve içinde tutulur.			Desteklenmiş Toprak Duvar	Üst üste yığılmış beton elemanlar bitki kutuları oluşturmak üzere kullanılarak desteklenmiş bir toprak duvar oluşturulur.

(HOSANNA, 2009)			Bitkisel Tepe Profilleri	Geleneksel tepe profilleri yerine üst kenar boyunca bitki örtüsü dikimiyle akustik performans artırılabilir.			Toprak ile Bitkilendirme Sistemleri Kullanımı	Düşük yoğunluklu toprak ile yapılan duvar ile bitkileri destekleyen stabil, gözenekli granül ortam içeren bir panel sağlanır.				
(Wong & diğerleri, 2010)	Dikey Yeşil Sistemler	Duvar yüzeylerinde kablo örgü, kafes panel, modül ya da keçe katmanı uygulamaları ile bitkiler için yetiştirme ortamı oluşturulur.										
(GovHK, 2012)	Bitkilendirilmiş Duvar Paneli	Duvar yüzeylerinde modüler paneller içinde, metal kafesler ya da doğrudan yüzey üzerinde bitkiler için yetiştirme ortamı oluşturulur.										
(Yamamoto, 2015)			Tepe Profili İçinde Bitkilendirme	Mantar başlıklı bariyerlerde, tepe profili içi toprak ile doldurularak bariyerin tepe noktasında bitki dikimi yapılır.								
(Lacasta & diğerleri, 2016)	Modüler Dikey Yeşil Sistemler	Duvar yüzeylerinde modüler sistem uygulamaları ile bitkiler için yetiştirme ortamı oluşturulur.										
(Thomazelli & diğerleri, 2016)	Modüler Sistem Dikey Bahçeler	Duvar yüzeylerinde modüler sistem uygulamaları ile bitkiler için yetiştirme ortamı oluşturulur.										
(CEDR, 2017)	Dikey Yeşil Duvarlar	Bitki yetiştirme ortamı ihtiyaçlarını karşılayan; tekstil, inşaat ya da endüstri malzemelerinden üretilmiş gözenekli bir ortam sağlayan panellerle oluşturulur.					Desteklenmiş Toprak Dolgular	Toprak dolgunun ahşap, beton, çelik, plastik vb malzemeler ile desteklenmesi ile bariyer yüzeyinde ve boşluklarında bitkilendirme yapılır.				

Bio-bariyer yapım sistemlerinin Tablo 4.2 üzerinde belirtildiği üzere; referans kaynaklarda farklı tanımlanmış olan kapsamları değerlendirilerek, literatürde verilen

bio-bariyer isimlendirmeleri ve karşılığındaki tanımlamaları aşağıdaki başlıklarda açıklanmıştır.

- Dikey bio-bariyerler
- Oluklu bio-bariyerler
- Çerçevele bio-bariyerler
- Destekli bio-bariyerler
- Yaşayan bio-bariyerler
- Yığın bio-bariyerler

Akademik çalışmaların derlenmesi ve bio-bariyer yapım sistemleri başlıklarının belirlenmesiyle oluşturulan içerikle ilgili yapılan araştırmalar sonucunda, bio-bariyer yapım sistemlerinin akademik çalışmalarla kısıtlı kalmadığı; üretici firmalar tarafından alternatif sistem önerileriyle geliştirilmiş olduğu belirlenmiştir. Bio-bariyer yapım sistemlerinin kapsamlı olarak tanımlanabilmesi için bazı üretici firmalardan ve web sitelerinden ürün bilgileri temin edilmiştir.

Çalışma kapsamında; literatür taraması sonucunda sistematik bir biçimde sınıflandırılmış olan bio-bariyer yapım sistemleri ile ilgili tanım ve uygulama yöntemleri ile ilgili kaynaklardan referans alınan bilgiler verilmiş olup; ürün bilgileri doğrultusunda (Ek 4 Bazı Bio-Bariyer Ürünlerinin Performans Değerleri) güncel uygulamalar örneklendirilerek sistem içerikleri geliştirilmiştir.

4.4.1. Dikey Bio-Bariyerler

Dikey bio-bariyerler ile ilgili çalışmış olan akademik kaynak içeriklerinde sistem uygulamaları gruplandırmalarına ilişkin farklılıklar bulunduğu ve aynı tanımdaki bio-bariyer uygulamasının, farklı kaynaklarda farklı isimlendirmeler ile ele alınmış olduğunun belirlenmesi üzerine; kaynak içerikleri derlenerek ortak bir başlık ve tanım oluşturulmuştur.

Dikey bio-bariyerler; yapısal bariyerler üzerinde dikey yeşil sistem uygulamalarıyla bitkilendirmeye elverişli yüzeyler oluşturulan gürültü bariyerleridir.

Yapısal eleman ve bitkisel materyalin bir arada kurgulanmasıyla tasarlanan bio-bariyer uygulamalarında; bitkisel materyalin doğrudan yüzeye uygulanması duvar yüzeyinde hasarlar oluşturacağından, bariyer duvarından bir katman ile ayrıştırılması gerekmektedir. Bu ayrıştırma, mevcut yapı elemanları ile yüzeye uygulanacak bitkisel

materyal arasında bir katman oluşturarak bitkilendirme yöntemi olarak kullanılabilen dikey yeşil sistem uygulamaları ile sağlanmaktadır.

Akademik kaynaklarda dikey yeşil sistemler bir bio-bariyer türü olarak ele alınmamış olup; yapısal bariyerlerin bitkisel materyal ile desteklenmesi ile sağlanan ya da sağlanabilecek akustik performansları üzerinden bilgi verilmiştir. Araştırma sonucunda bariyer uygulamalarında kullanıldığı tespit edilen bu sistemler; bio-bariyer yapım sistemi kapsamına alınmış ve dikey yeşil sistem uygulamalarına yönelik yapılmış çalışmalardan da faydalanılmıştır. Bu kapsamda, dikey yeşil sistemler ile ilgili çalışmış olan kaynaklar incelenmiş ve uygulama yöntemleri ile ilgili içerikler derlenmiştir.

(Farnham & Beimbom, 1990), çalışmasında mevcut bariyer yüzeylerindeki bitkilendirme uygulamalarını 2 grupta tanımlamışlardır.

- Duvar Boşluklarında Bitkilenme
- Duvar Yüzeyinde Bitkilendirme

(Mir, 2011), çalışmasında dikey yeşil sistemleri uygulama sistemine göre 3 başlıkta incelemiştir.

- Bitkilendirilmiş Duvarlar
 - Doğal Bitkilendirme
 - Bitkilendirilmiş Beton Panel
- Yeşil Cepheler
 - Modüler Kafes Panel Sistem
 - Kablo ve Tel-Halat Örgü Ağ Sistemi
- Yaşayan Duvarlar
 - Modüler Sistem
 - Köpük Bazlı Sistem
 - Mineral Yün Bazlı Sistem
 - Keçe Katmanlı Sistem

(Aygencel, 2011), çalışmasında dikey yeşil sistemleri uygulama sistemine göre 2 başlıkta incelemiştir.

- Yeşil Cepheler
 - Modüler Kafes Panel Sistem
 - Kablo ve Tel Örgü Ağ Sistemi
- Yaşayan Duvarlar
 - Modüler Yaşayan Duvarlar

- Bitkilendirilmiş Hasır Duvarlar
- Biyolojik Filtrasyon
- Peyzaj Duvarları

(Örnek, 2011), çalışmasında dikey bahçeleri uygulama tekniğine göre 4 başlıkta gruplamıştır.

- Hidrofonik Panel Sistem
- Topraklı Panel Sistem
- Keçe Kullanarak Bitkilendirme
- Asma Sistem

(Erdoğan, 2014), çalışmasında dikey yeşil sistemleri uygulama sistemine göre 3 başlıkta incelemiştir.

- Bitkilendirilmiş Duvarlar
 - Doğal Bitkilendirme
 - Bitkilendirilmiş Ön Üretimli Paneller
- Yeşil Cepheler
 - Modüler Kafes Panel Sistem
 - Kablo ve Tel-Halat Örgü Ağ Sistemi
- Yaşayan Duvarlar
 - Saksıda Bitkilendirilmiş Ön Üretimli Sistem
 - Köpük Katmanlı Ön Üretimli Sistem
 - Mineral Yünü Katmanlı Ön Üretimli Sistem
 - Keçe Katmanlı Yerinde Yapım Sistem

(Wagemans, 2016), çalışmasında dikey yeşil sistemleri uygulama sistemine göre 3 başlıkta incelemiştir.

- Bitkilendirilmiş Duvarlar
- Yeşil Cepheler
- Yaşayan Duvarlar
 - Saksıda Bitkilendirilmiş Ön Üretimli Sistem
 - Köpük Katmanlı Ön Üretimli Sistem
 - Mineral Yünü Katmanlı Ön Üretimli Sistem
 - Keçe Katmanlı Yerinde Yapım Sistem

(Ekren, 2016), çalışmasında dikey yeşil sistemleri uygulama sistemine göre 3 başlıkta incelemiştir.

- Duvar Vejetasyonu
- Yeşil Cepheler
- Dikey Bahçeler (Yaşayan Duvarlar)
 - Bitkilendirme Modülleri
 - Köpük Tabanlı Sistem
 - Mineral Yün Tabanlı Sistem
 - Keçe Yüzeyli Sistem

Akademik kaynak içeriklerinde dikey yeşil sistem uygulamaları gruplandırmalarına ilişkin farklılıklar bulunmaktadır. Aynı tanımdaki sistem uygulamasının, farklı kaynaklarda farklı isimlendirmeler ile ele alınmış olduğu görülmektedir. Literatürde verilen içerikler incelendiğinde dikey yeşil sistemlerin Tablo 4.3'te ifade edilmiş olduğu üzere; ortak başlıklarda toplanabildiği görülmektedir.

Tablo 4.3. *Dikey yeşil sistem uygulamaları*

Kaynak	Dikey Yeşil Sistemler		
	Bitkilenmiş Duvarlar	Yeşil Cepheler	Dikey Bahçeler (Yaşayan Duvarlar)
(Farnham & Beimborn, 1990)	- Duvar Boşluklarında Bitkilenme	- Duvar Yüzeyinde Bitkilendirme	-
(Mir, 2011)	- Doğal Bitkilendirme - Bitkilendirilmiş Beton Panel	- Modüler Kafes Panel Sistem - Kablo ve Tel Halat Ağ Sistem	- Modüler Sistem - Köpük Bazlı Sistem - Mineral Yün Bazlı Sistem - Keçe Katmanlı Sistem
(Örnek, 2011)	-	- Asma Sistem	- Hidrofonik Panel Sistem - Topraklı Panel Sistem - Keçe Kullanarak Bitkilendirme
(Aygencel, 2011)	-	- Modüler Kafes Panel Sistem - Kablo ve Tel Örgü Ağ Sistem	- Modüler Duvarlar - Bitkilendirilmiş Hasır Duvarlar - Biyolojik Filtrasyon - Peyzaj Duvarı
(Erdoğan, 2014)	- Doğal Bitkilenme - Bitkilendirilmiş Ön Üretimli Panel	- Modüler Kafes Panel Sistem - Kablo ve Tel Örgü Ağ Sistem	- Saksıda Bitkilendirilmiş Sistem - Köpük Katmanlı Sistem - Mineral Yünü Katmanlı Sistem - Keçe Katmanlı Sistem
(Wagemans, 2016)	- Bitkilendirilmiş Duvarlar	- Yeşil Cepheler	- Bitkilenme Modülleri - Paneller ile Uygulama - Mineral Yünlü Paneller - Keçe Katmanı ile Uygulama
(Ekren, 2016)	- Duvar Vejetasyonu	- Yeşil Cepheler	- Modüler Sistem - Köpük Tabanlı Sistem - Mineral Yün Tabanlı Sistem - Keçe Yüzeyli Sistem

Farnham & Beimborn, tarafından çalışılmış olan başlıklar yapım sistemine yönelik genel tanımlamaları içermektedir.

Örnek, tarafından 'Dikey Bahçeler' kapsamında çalışılmış olan 'Asma Sistemler' tırmanıcı bitkilerin tutunmasını sağlayan bir sistem önerisi olduğundan 'Yeşil Cepheler' kapsamında incelenecektir. Kaynakta çalışılmış olan diğer başlıklar ise yapım sistemi değil, bitki besini sağlanan yetiştirme ortamı kapsamında gruplandırılmıştır. Bu nedenle, dikey bahçe sistemleri ile ilgili genel bilgi vermektedir.

Aygenel, tarafından çalışılmış olan "Biyolojik Fitrasyon" bir yapım sistemi değil, ekolojik döngü sistemi önerisi olduğundan bio-bariyer yapım sistemi olarak ele alınmamıştır. "Peyzaj Duvarları" başlığı ise eğim sabitlemesi amacıyla toprak yığınlar üzerinde, yapı elemanı ile oluşturan ceplerde bitkilendirme uygulamalarını kapsadığından, "Yığın Bio-Bariyer" uygulamaları içeriğindedir ve "Dikey Bio-Bariyerler" kapsamında ele alınmamıştır.

Literatür taraması sonucunda dikey yeşil sistem uygulamalarının 3 ana başlıkta toplandığı görülmektedir. Kaynak derlemesi sonucunda oluşturulan içerikte yapım sistemleri aşağıda verilmektedir.

- Bitkilenmiş Duvarlar
 - Doğal Bitkilenme
 - Bitkilenmeye Uygun Panel Sistem
- Yeşil Cepheler
 - Modüler Kafes Panel Sistem
 - Kablo ve Tel Örgü Sistem
- Dikey Bahçeler
 - Modüler Sistem
 - Köpük Katmanlı Sistem
 - Mineral Yün Katmanlı Sistem
 - Keçe Katmanlı Sistem

4.4.1.1. Bitkilenmiş duvarlar

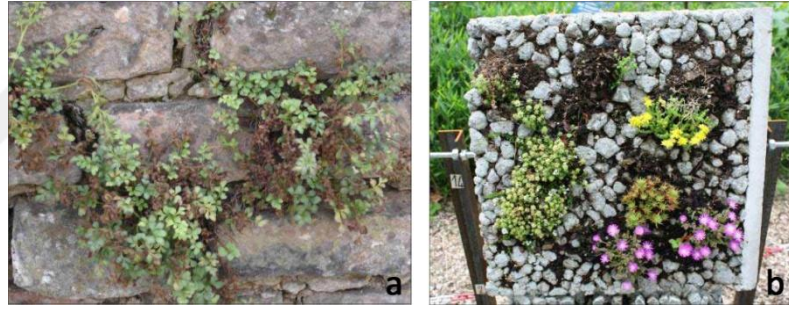
Bitkilenmiş duvar sistemleri, "Doğal Bitkilenme" ve "Bitkilenmeye Uygun Panel Sistem" olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir.

Doğal bitkilenme

Doğal bitkilenme; yapı üzerinde çoğunlukla sıvanın, betonun veya diğer bağlayıcı malzemelerin dağılmasıyla oluşan boşluklarda bitkilerin doğal yollarla yetişmesi ile oluşmaktadır. Doğal bitkilenme; bitkilerin insan eli değmeden duvar üzerinde kendiliğinden büyümesiyle oluşması nedeniyle karmaşık ve planlanmamış bir yapıdır. Bu nedenle bio-bariyer yapım sistemleri kapsamında ele alınmamaktadır.

Bitkilenmeye uygun panel sistem

Bitkilenmeye uygun paneller; bitkilere yetiştirme ortamı hazırlamak için toprakla doldurulmuş gözenekli beton panellerdir. Gözenekli duvar yapı elemanları, bitkilendirmeyi kendi yapılarına dahil etmek üzere tasarlanmış olduklarından; bio-bariyer uygulamaları kapsamında ele alınmaktadır. Aşağıda doğal bitkilenme ve gözenekli duvar uygulamasına yönelik örnek görseller verilmektedir (Görsel 4.1).

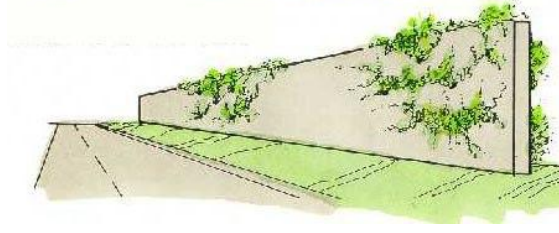


a) Doğal Bitkilenme, b) Bitkilenmeye Uygun Panel Sistem

Görsel 4.1. *Bitkilenmiş duvar uygulamaları*

(Mir, 2011)

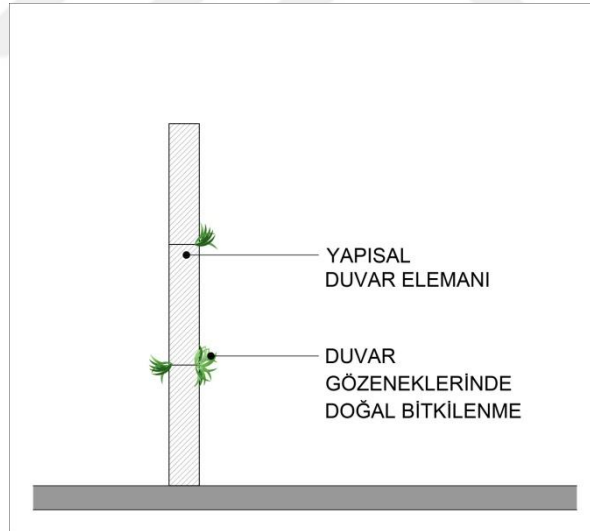
(Farnham & Beimborn, 1990), bitkilenmiş duvarları "Duvar Boşluklarında Bitkilenme" olarak genel kapsamda tanımlamışlardır. Bitkiler, duvarın içinden geçebilecekleri delikler açılarak ya da yüzeye tutturularak duvarlarla bütünleştirilebilir. Bu yaklaşımlar özellikle ekim alanının çok sınırlı olduğu durumlarda uygundur. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem görseli verilmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. *Bitkilenmiş duvar uygulaması*
(Farnham & Beimbörn, 1990)

Bio-bariyer uygulamalarında kullanılan bitkilendirilmiş duvar sistemlerine yönelik akademik kaynaklarda çalışılmış olan tanım ve görsellerin değerlendirilmesi ile yapım sistemine yönelik tanımlama yapılmış ve hazırlanan tip kesit ile görselleştirilmiştir.

Bitkilenmiş duvarlar; doğal olarak bitkilenen, bitkinin duvar yüzeylerinin özellikle birleşim yerlerinde veya çatlaklarında yetiştiği ya da duvarı oluşturan panellerin kendi bünyesinde bitkilenmeyi gerçekleştirdiği dikey yeşil sistem çeşididir. Aşağıda yapım sistemine yönelik hazırlanmış olan tip kesit verilmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. *Bitkilenmiş duvar uygulaması tip kesiti*

Bitkilenmiş duvarlar, bitkilenmenin baskın olarak uygulanmadığı bir dikey yeşil sistem türü olduğundan; gürültü bariyeri uygulamalarında bitkisel materyal yüksek performans göstermeyecektir. Bu nedenle bio-bariyer uygulamaları kapsamında sistem yetersiz kalmaktadır.

4.4.1.2. Yeşil cepheler

Yeşil cepheler, "Modüler Kafes Panel Sistem" ve "Kablo ve Tel Örgü Sistem" olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir. Bitkilerin türüne, kaplanacak duvar yüzeyine, bitki miktarına, bitkiler arası mesafeye, uzama miktarına, köklenme özelliklerine ya da su ihtiyacına göre toprakta ya da saksıda köklendirilerek imal edilebilir (Ottel , 2011). Aşağıda yeşil cephe uygulama yöntemlerine yönelik hazırlanmış olan kesitler verilmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Yeşil cephe uygulama yöntemleri
(Erdoğan, 2014)

Modüler kafes panel sistem

Modüler kafes panel sistemler; galvanize kaplı çelik kafes panellerin cepheden koparılarak monte edilmesi ile bitkileri desteklemek üzere tasarlanmışlardır. Bitki yetiştirme ortamının kısıtlanmasıyla yapı yüzeyi korunmuş olur (Mir, 2011). Modüler panellerin farklı şekillerde birleştirilebiliyor olması ile bitkilerin yönlendirilmesi sağlanmaktadır (Aygencel, 2011). Aşağıda modüler kafes panel sistem uygulamasına yönelik örnek görsel verilmektedir (Görsel 4.2).



Görsel 4.2. Modüler kafes panel sistem uygulaması
(Mir, 2011)

Kablo ve tel örgü ağ sistem

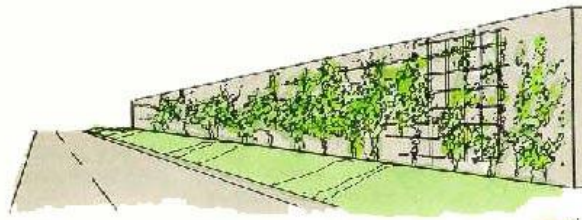
Kablo ve tel örgü ağ sistemler; çelik kablo ve tel elemanlarının cepheye gerilerek monte edilmesiyle bitkileri desteklemek üzere tasarlanmışlardır. (Örnek, 2011), çalışmasında; "Asma Sistemler" başlığında incelenen bu sistemler; sarmaşık türü bitkilerin tutunabilecekleri yüzeylerin, metal gergi ve hasır elemanlar ile kontrollü olarak sağlanmasıyla oluşturulur. Kablolar, yoğun yeşillik ile daha hızlı büyüyen tırmanma bitkilerini desteklemek; tel ağlar, genellikle ilave desteğe ihtiyaç duyan yavaş büyüyen bitkileri desteklemek için kullanılır (Mir, 2011). Her iki sistem, yüksek gerilimli çelik kablolar, ankrajlar ve bütünleyici elemanlarla oluşturulur ve çeşitli boyutlardaki örgüler ile kurgulanabilirler (Aygenel, 2011). Aşağıda kablo ve tel örgü ağ sistem uygulamasına yönelik örnek görsel verilmektedir (Görsel 4.3).



Görsel 4.3. Kablo ve tel örgü ağ sistem uygulaması

(Mir, 2011)

(Farnham & Beimbom, 1990), yeşil cepheleri "Duvar Yüzeyinde Bitkilenme" olarak genel kapsamda tanımlamışlardır. Bitkilerin duvar yüzeyine destek elemanları ile bağlanmasıyla, gürültü bariyeri üzerindeki bitkilendirme uygulamalarını içerir. Bitkileri yüzeylere bağlamak için metal destekler ya da kablo sistemleri kullanılabilir. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem görseli verilmektedir (Görsel 4.4).



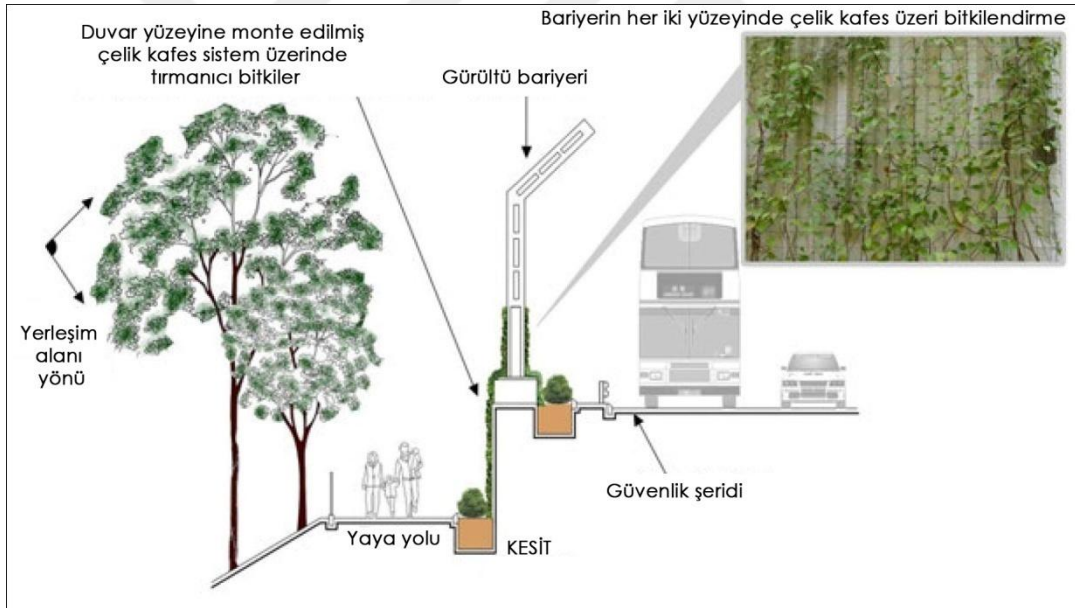
Görsel 4.4. Yeşil cephe uygulaması

(Farnham & Beimbom, 1990)

Yapısal bariyerlerin yeşil cephe uygulamalarıyla bitkisel materyal ile desteklenmesine ilişkin yapılmış olan bazı çalışma örnekleri aşağıda verilmektedir (Görsel 4.5, Görsel 4.6).



Görsel 4.5. Modüler kafes panel sistem bio-bariyer uygulaması
(Bendtsen, 2009)



Görsel 4.6. Kablo ve tel örgü ağ sistem bio-bariyer uygulaması
(GovHK, 2012)

Akademik kaynaklarda uygulama örnekleri bulunan bu sistemlerin, uygulamaların ortak bir başlıkta tanımlanması ve üretici firmadan sağlanan ürün içeriğiyle desteklenmesiyle; bio-bariyer yapım sistemi kapsamı geliştirilmiştir.

Yeşil cephe sistemi uygulanmış dikey bio-bariyer yapım sistemlerinin güncel uygulamalar doğrultusunda örneklendirilerek sistem içeriklerini geliştirmek üzere; üretici firmalar araştırılarak ürün nitelikleri incelenmiştir. Aşağıda, sistem içeriğinde

imal edilmekte olan bio-bariyer türlerine ilişkin ürün niteliği tablosu bulunmaktadır (Tablo 4.4). İçeriğin oluşturulmasındaki hedef ürün özellikleri olduğundan; firma isimlerine tablo üzerinde yer verilmemiş olup; ürün isimleri üzerinden ilerlenmiştir. Firma bilgilerinin referanslarına Ek 4 içeriğinden ulaşılabilir.

Tablo 4.4. *Dikey yeşil cephe bio-bariyer ürünleri*

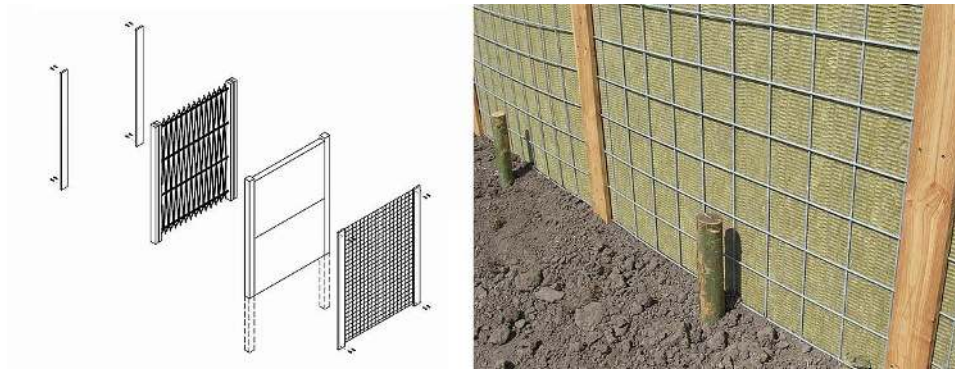
Bio-Bariyer Türü	Ürün Nitelikleri					
	Ürün Bilgisi	Taşıyıcı Sistem Özellikleri	Yüzey Özellikleri	Bariyer Performansı		Bitki Türü
				Yutma	Azaltma	
Dikey Bio-Bariyer Kafes Panel Sistem	Planta Classic 200	Maksimum 6 m bariyer yüksekliği Standart 4 m aks aralığı HEA 200 çelik kolon	Taş yünü yutucu panel üzeri polietilen koruyucu ağ ve galvanize kafes çelik çerçeve Standart 1000-1200-1500-2000-2200 mm panel yüksekliği Standart 3870 mm panel genişliği Standart 275-284 mm panel kalınlığı 50 kg/m ² kütle ağırlığı	9 dB	28 dB	Konstrüksiyon üzerinde turmanabilen bitki türleri
Dikey Bio-Bariyer Kafes Panel Sistem	Pura	Standart 3 m, maksimum 3 m bariyer yüksekliği Standart 2.5 m aks aralığı 45/36/2 mm U profil galvanize çelik kolon	0.75 mm çelik levha üzeri galvanize kafes çelik çerçeve (150x150 mm boşluklu), mineral yün yutucu panel (30 mm) üzeri polietilen koruyucu ağ (2 mm) ve 32 mm çapında 23 adet Hindistan cevizi lifi çubukları Standart 2000 mm panel yüksekliği, 2490 mm genişliği, 50 mm kalınlığı 18 kg/m ² kütle ağırlığı	Sınıf: A3 (8-11 dB) DLA: 8 dB	Sınıf: B3 (25-34 dB) R :30 dB	Konstrüksiyon üzerinde turmanabilen bitki türleri
Dikey Bio-Bariyer Kafes Panel Sistem	The Green Element 120 mm Core	Ahşap çerçeve	Taş yünü yutucu panel (120 mm) üzeri kafes çelik çerçeve ya da kuru söğüt dal örgüsü	Sınıf: A3 (8-11 dB) DLA: 9 dB	Sınıf: B2 (15-24 dB) DLr: 22 dB	Konstrüksiyon üzerinde turmanabilen bitki türleri

Dikey Bio-Bariyer Kafes Panel Sistem	Canor Benelux BV	Mineral yün yutucu panel üzeri galvanize kafes çelik çerçeve (240x240mm ya da 200x200mm boşluklu, 6 ya da 8mm) Maksimum 2000 mm panel yüksekliği, 4000 mm genişliği, 230 mm kalınlığı 45 kg/m ² kütle ağırlığı	Sınıf: A4 (12-15 dB)	Sınıf: B3 (25-34 dB) 34 dB	Konstrüksiyon üzerinde tırmanabilen bitki türleri
---	---------------------	---	----------------------	-------------------------------	--

Planta Classic ve The Green Element ürünleri, taş yünü yutucu panel üzeri polietilen koruyucu ağ ve galvanize kafes çelik çerçeve üzeri tırmanıcı bitki uygulaması ile oluşturulan bio-bariyer sistemleridir. Planta Classic, 2.20 m yükseklikte ve 0.28 m kalınlıktaki bariyer uygulaması ile 28 dB; The Green Element ise, 0.12 m kalınlıktaki bariyer uygulaması ile 22 dB gürültü azalması sağlanabileceği belirtilmektedir. Aşağıda, referans kaynaklar kapsamında belirtilmiş olan sistem görseli verilmiştir (Görsel 4.7).



(Planta Classic)



(The Green Element)

Görsel 4.7. Taş yünü panel üzeri çelik kafes çerçeve uygulaması

Pura ve Canor Benelux ürünleri, mineral yün yutucu panel üzeri polietilen koruyucu ağ ve galvanize kafes çelik çerçeve üzeri tırmanıcı bitki uygulaması ile oluşturulan bio-bariyer sistemleridir. Pura, 2.00 m yükseklikte ve 0.05 m kalınlıktaki

bariyer uygulaması ile 30 dB, Canor Benelux ise, 2.00 m yükseklikte ve 0.23 mm kalınlıkta bariyer uygulaması ile 42 dB gürültü azalması sağlanabileceği belirtilmektedir. Aşağıda, referans kaynaklar kapsamında belirtilmiş olan sistem görseli verilmiştir (Görsel 4.8).



(Pura)

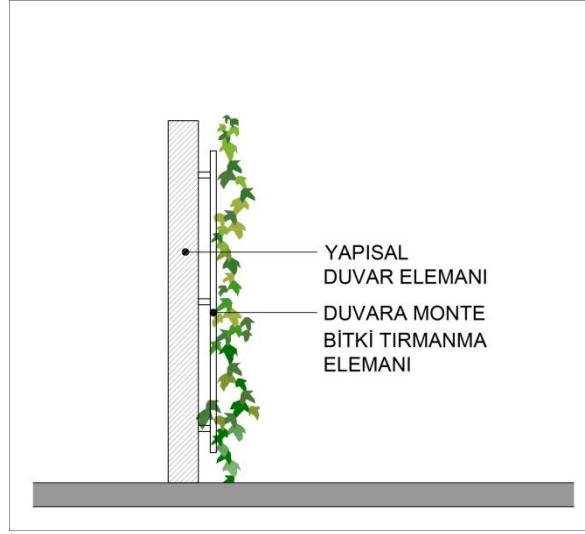


(Canor Benelux)

Görsel 4.8. Mineral yün panel üzeri çelik kafes çerçeve uygulaması

Bio-bariyer uygulamalarında kullanılan, yeşil cephe sistemlerinin akademik kaynaklarda çalışılmış olan tanım ve görsellerinin değerlendirilmesi beraberinde ürün bilgileri ile desteklenmesi ile yapım sistemine yönelik tanımlama yapılmış ve hazırlanan tip kesit ile görselleştirilmiştir.

Yeşil cepheler; bitkilerin özel tasarlanmış destekleyici strüktürler yardımı ile taşıtıldığı, yapı elemanının yüzeyini kaplayan dikey yeşil sistem çeşididir. Bitkilerin duvara doğrudan temasında yapıya zarar verebilecek olmaları nedeniyle, bitkilerin cepheyi kaplaması için dikey yönde destekleyecek iskeletlere ihtiyaç duyulmakta ve yeşil cephe sistemleri uygulanmaktadır. Aşağıda yapım sistemine yönelik hazırlanmış olan tip kesit verilmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. *Yeşil cephe uygulaması tip kesiti*

Dikey yeşil cephe uygulamaları ile ilgili akademik kaynaklarda konstrüksiyon sistemleri ile ilgili bilgi verilmiş olup; bu uygulamalar ile teşkil edilen bio-bariyer ürünlerinden, konstrüksiyon sisteminin yutucu özellikteki yüzey üzerine uygulanması ile gürültü azaltma performansının sağlandığı belirlenmiştir.

4.4.1.3. Dikey bahçeler

Dikey bahçe sistemleri, bitki katmanının duvar yapısından tamamen ayrı tutması ile oluşturulur ve bitkiler yüzeye asılı sistemler içinde köklendirilir. Bitki yetiştirme ortamı; paneller, topraklı modüller ya da keçe katmanı içinde sağlanabilir (Örnek, 2011). Bitkiler, damlama sulama yöntemi ile su ve besin çözeltilerinin yüzeye asılı sistemlere ulaştırılmasıyla beslenmektedir (Erdoğan, 2014).

Dikey bahçeler, "Modüler Sistem", "Köpük Katmanlı Sistem", "Mineral Yün Katmanlı Sistem" ve "Keçe Katmanlı Sistem" olmak üzere dört başlıkta incelenmektedir.

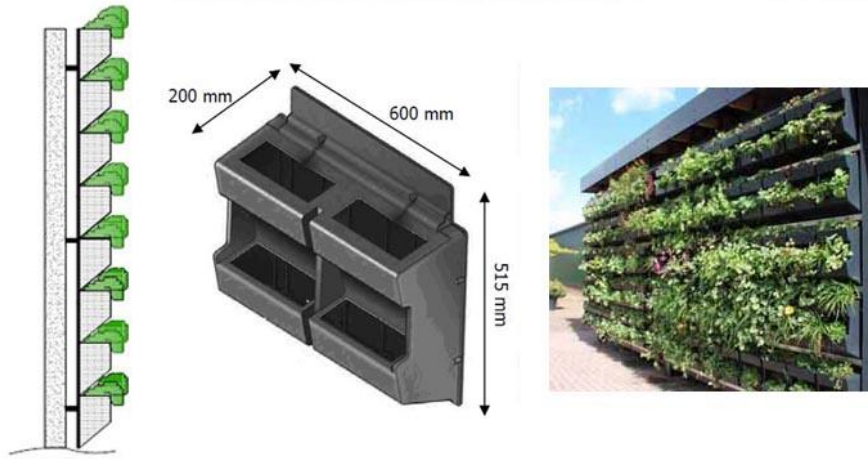
Modüler sistem

Modüler sistem dikey bahçeler; cam elyaf takviyeli geri dönüştürülebilir fiberglas donanımlı geri dönüştürülebilir yüksek yoğunluklu polietilenden yapılmış modüllerin toprakla doldurularak yüzeye asılması ile uygulanan dikey yeşil sistemlerdir (Mir, 2011). Panel ya da saksı modülleri içerisine yerleştirilen bitkiler ile oluşturulan dikey bahçeler, cepheye monte edilen taşıyıcı profillere asılmaktadır. Modüller 600x515x200

mm boyutlarında ve bitkisiz ağırlık dolgu malzemesine göre değişmekle birlikte modül başına 25-40 kg. arasındadır (Mir, 2011). Bitki yaşam ortamları olarak genellikle toprak miktarı az tutularak, torf ve perlit gibi besin değeri yüksek ve sisteme fazla yük olmayacak malzemeler tercih edilmektedir (Ekren, 2016). Sistem görselleri aşağıda verilmektedir (Görsel 4.9).



(Ekren, 2016)



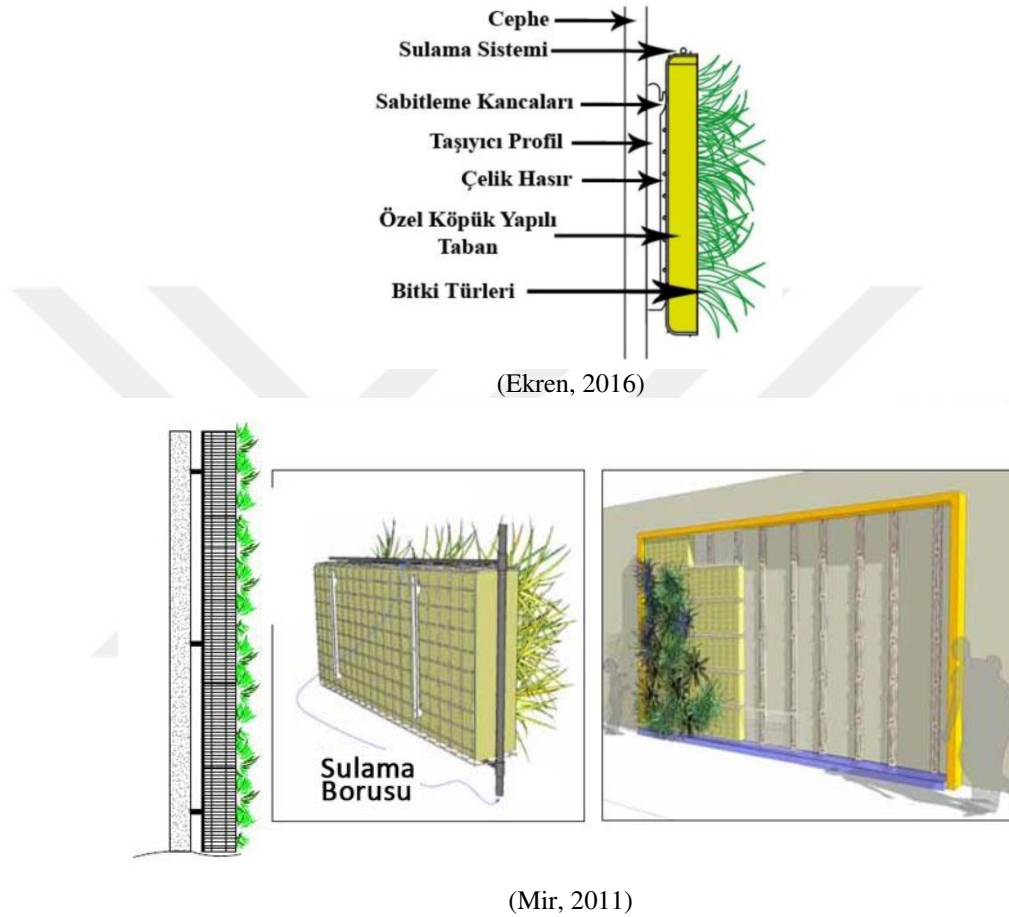
(Mir, 2011)

Görsel 4.9. Modüler sistem dikey bahçe uygulaması

Köpük katmanlı sistem

Köpük katmanlı sistemler; cepheye yerleştirilen taşıyıcı profilin üzerine, yapısında yüksek çekme direnci oluşturan amino reçinesi bulunduran köpük paneller monte edilerek oluşturulan dikey yeşil sistemlerdir (Ekren, 2016). Bitki; topraksız olarak köpük panel yüzeyinde köklendirilmektedir. Bitki besini sıvı çözelti döngüsü yardımıyla sağlanır. Köpük panel; hafif, ancak çok kararlı ve sıkı bir beyaz süngerimsi pH nötrleştirilmiş bir büyüme ortamı oluşturur (Mir, 2011).

Köpük paneller çelik bir çerçeveye yerleştirilir ve konstrüksiyon uygulanacak yüzey üzerine monte edilmiş olan alüminyum taşıyıcılara asılır. Panellerin standart boyutu 1000x490x140 mm. olup sistemin bitkisiz ağırlığı yaklaşık 88 kg/m²'dir (Mir, 2011). Sistem görselleri aşağıda verilmektedir (Görsel 4.10).

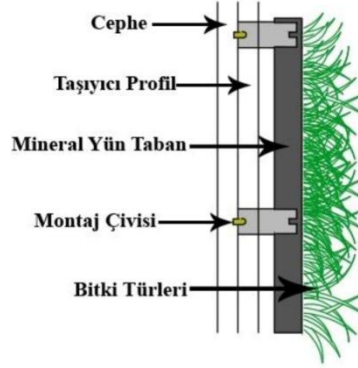


Görsel 4.10. Köpük katmanlı sistem dikey bahçe uygulaması

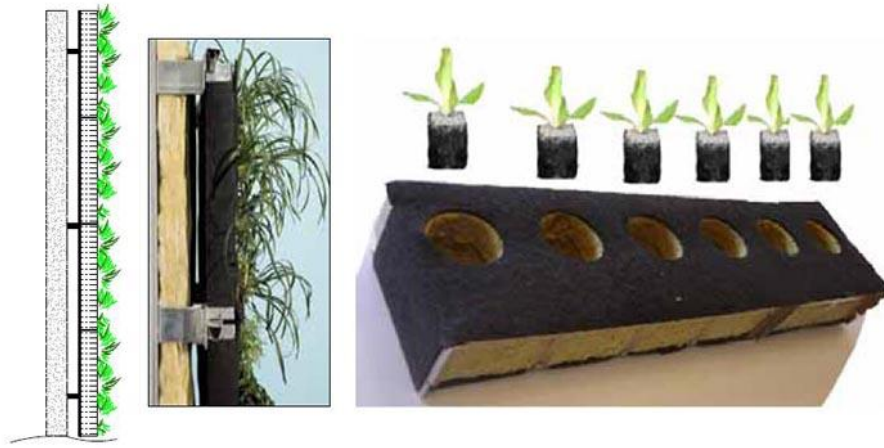
Mineral yün katmanlı sistem

Mineral yün katmanlı sistem; cepheye yerleştirilen taşıyıcı profilin üzerine, mineral yün paneller monte edilerek oluşturulan dikey yeşil sistemlerdir (Ekren, 2016). Tuzla temas eden bütün sistem bileşenleri yüksek kaliteli alüminyum alaşımından üretilir (Mir, 2011). Bitki; topraksız olarak mineral yün panel yüzeyinde köklendirilmektedir. Bitki besini sıvı çözelti döngüsü yardımıyla sağlanır. Kendi üzerinde durabilen sıkı bir yapıda olan mineral yünü, yaygın bir kullanım alanına sahiptir (Wagemans, 2016). Bu nedenle destekleyici strüktürler olmasın cephe üzerine asılarak da kullanılabilir. Panellerin standart boyutu 75x600x1000 mm. olup panellerin

bitkisiz ağırlığı yaklaşık 12-15 kg. 'dır (Mir, 2011). Sistem görselleri aşağıda verilmektedir (Görsel 4.11).



(Ekren, 2016)



(Mir, 2011)

Görsel 4.11. Mineral yün katmanlı sistem dikey bahçe uygulaması

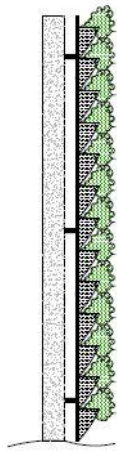
Keçe katmanlı sistem

Keçe katmanlı dikey bahçeler; keçe katmanlı ceplerin içinde bitkilendirme uygulamalarıyla oluşturulan dikey yeşil sistemlerdir. Bitki; topraksız olarak keçe katmanı içinde köklendirilmektedir. İki katmandan oluşan keçe ceplerin çelik bir çerçeveye sabitlenmesiyle bitkilerin büyüme ortamı fiziksel olarak desteklenmiş olur (Mir, 2011). Bitki besini sıvı çözelti döngüsü yardımıyla sağlanır. Sistemin yüksek oranda nem içermesi sebebiyle, keçe cepler su yalıtımlı malzemesi katmanıyla desteklenir (Aygencel, 2011). Bitkiler için yetiştirme ortamı görevini üstlenen keçe malzemesi aynı zamanda suyun homojen bir şekilde dağılımına izin vermekte ve küflenmemektedir (Ekren, 2016). Keçe katmanlı sistem, kendisini destekleyen çelik profiller ile duvara monte edildikten sonra bitkiler ceplere yerleştirilir (Erdoğan, 2014).

Çelik çerçeveyi içeren sistemin ağırlığı yaklaşık 100 kg / m²'dir (Mir, 2011). Sistem görselleri aşağıda verilmektedir (Görsel 4.12).



(Thomazelli & diğerleri, 2016)

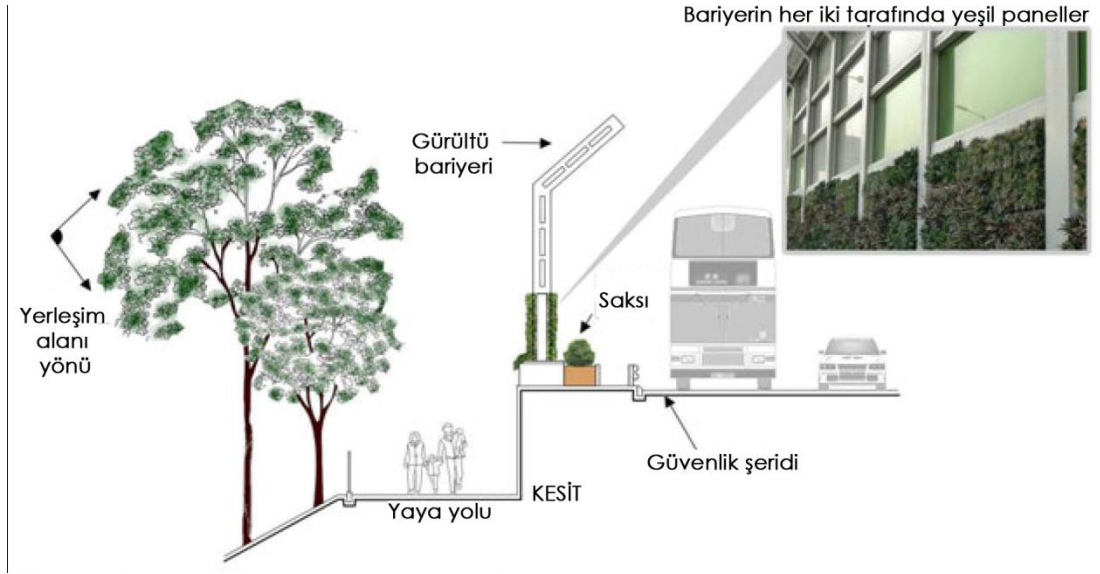


(Mir, 2011)

Görsel 4.12. Keçe katmanlı sistem dikey bahçe uygulaması

Yapısal bariyerlerin dikey bahçe uygulamalarıyla bitkisel materyal ile desteklenmesine ilişkin yapılmış olan bazı çalışma örnekleri aşağıda verilmektedir.

Gürültü bariyerlerinin bitkilendirilmesine yönelik Hong Kong Hükümeti tarafından hazırlanan kılavuz kapsamında, modüler sistem dikey bahçe uygulaması yapılmış olan dikey gürültü bariyerine ilişkin örnek verilmiştir (Görsel 4.13). Modüler sistem bio-bariyer, bariyerin alt kısmında ve her iki cephesine monte edilen toprak dolgulu modüllerin çalılar ile bitkilendirilmesi ile oluşturulmuştur. (GovHK, 2012)



Görsel 4.13. *Modüler sistem bio-bariyer uygulaması*
(GovHK, 2012)

Karayolu gürültüsü kontrolünde gürültü bariyerlerinin araştırılması ve geliştirilmesine yönelik Avrupa Yol İdaresi tarafından hazırlanan rapor kapsamında, düşük yoğunluklu toprak içeren yeşil duvarların, özellikle düşük ve yüksek frekans aralıklarında yüksek performans gösterdiğini belirtilmiştir (CEDR, 2017). Besinler ile desteklenmiş toprak dolgulu membran modüllerin, hafif bir alüminyum çerçeve ile dikey olarak duvara sabitlendiği bariyer uygulama örneği aşağıda verilmektedir (Görsel 4.14).



Görsel 4.14. *Modüler sistem bio-bariyer uygulaması*
(CEDR, 2017)

Lacasta & diğerleri, çalışmalarında 2.62 m yükseklikte, 2.42 m genişliğinde ve 0.20 m kalınlığında bir beton bariyerin üzerine uyguladıkları modüler sistem ile meydana gelen gürültü azalmasını tespit etmişlerdir. Paslanmaz çelik taşıyıcı sistem

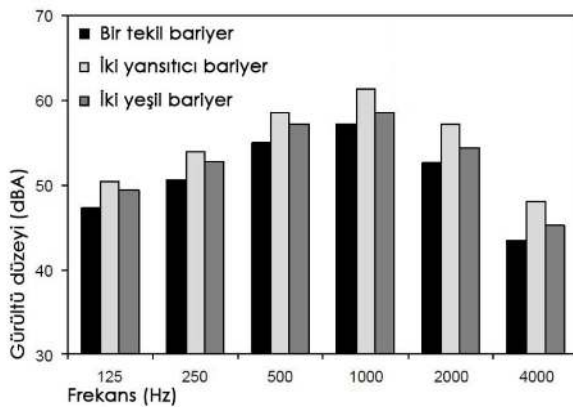
üzerine asılan geri dönüşümlü polietilen haznelerde toprağa ekilen, kuraklığa dayanıklı 0.4 m yüksekliğinde 24 adet çalı ile yapılan bir gürültü bariyeri prototipi üzerinden elde edilen gürültü azaltım değeri; günlük 12000 araçlık trafik akışının olduğu 6 şeritli otoban hesaplamaları için kullanılmıştır. Prototip görselleri aşağıda verilmektedir (Görsel 4.15).



Görsel 4.15. Modüler sistem dikey bahçe uygulaması yapılmış beton bariyer
(Lacasta & diğerleri, 2016)

Karşılaştırma için; tekil beton bariyer, çoklu yansıma oluşturabilecek bir çift paralel beton bariyer ve çoklu yansımalarla karşı etkili bir çift bio-bariyer uygulaması sonuçları değerlendirilmiştir. Bariyerler arasındaki çoklu yansımalar sebebi ile yol hattında gürültü düzeyinin arttığı ancak bitki örtüsü ile sağlanan yutulma ile yansıma etkisinin indirgendiği gözlenmiştir. Farklı bariyer konfigürasyonlarının performans karşılaştırmaları aşağıdaki grafikte verilmektedir (Grafik 4.2).

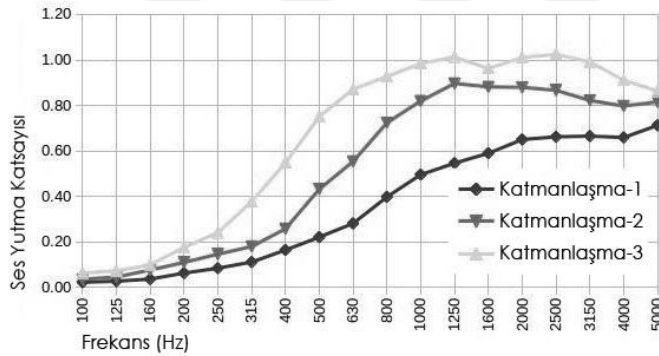
Grafik 4.2. Farklı bariyer konfigürasyonları karşılaştırması
(Lacasta & diğerleri, 2016)



(Thomazelli & diğerleri, 2016), keçe katmanlı dikey bahçelerin ses yutma ve yalıtım değerlerinin deneysel sonuçları belirlemişlerdir. Sistem; lamine kontrplak taban plakası, jeotekstil cepler içinde %87 boşluklu, 71 kg/m³ yoğunluklu toprak ve bitki örtüsü katmanlarından oluşmaktadır. Sistem; taban plakası + jeotekstil cep, taban plakası + jeotekstil cep + toprak, taban plakası + jeotekstil cep + toprak + bitki örtüsü olmak üzere üç durumda analiz edilmiş ve toprak dolgu ile bitki örtüsünün etkileri üzerinde sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar, her durumda taban plakalarına substrat ve bitki örtüsü yerleştirildiğinde tüm spektrumda ses emme katsayılarında önemli bir artış olduğunu göstermiştir. Bu bilgiler dahilinde yapısal bariyerler üzerinde uygulanan bitkilendirme uygulamaları ile teşkil edilen bio-bariyerlerin ses yutma performanslarından faydalanılmasının gürültü kontrolünün sağlanmasında avantajlı olacağı söylenebilir. Aşağıda, farklı katmanlar ile uygulanmış dikey bahçelerin performans değerleri verilmektedir (Grafik 4.3).

Grafik 4.3. Keçe katmanlı dikey bahçe sistemi performansı

(Thomazelli & diğerleri, 2016)



Akademik kaynaklarda uygulama örnekleri bulunan bu sistemlerin, uygulamaların ortak bir başlıkta tanımlanması ve üretici firmadan sağlanan ürün içeriğiyle desteklenmesiyle; bio-bariyer yapım sistemi kapsamı geliştirilmiştir.

Dikey bahçe sistemi uygulanmış dikey bio-bariyer yapım sistemlerinin güncel uygulamalar doğrultusunda örneklendirilerek sistem içeriklerini geliştirmek üzere; üretici firmalar araştırılarak ürün nitelikleri incelenmiştir. Aşağıda, sistem içeriğinde imal edilmekte olan bio-bariyer türlerine ilişkin ürün niteliği tablosu bulunmaktadır (Tablo 4.5). İçeriğin oluşturulmasındaki hedef ürün özellikleri olduğundan; firma isimlerine yer verilmemiş olup, ürün isimleri üzerinden ilerlenmiştir. Firma bilgilerinin referanslarına Ek 4 içeriğinden ulaşılabilir.

Tablo 4.5. Dikey bahçe bio-bariyer ürünleri

Bio-Bariyer Türü	Ürün Nitelikleri					
	Ürün Bilgisi	Taşıyıcı Sistem Özellikleri	Yüzey Özellikleri	Bariyer Performansı		Bitki Türü
				Yutma	Azaltma	
Dikey Bio-Bariyer Modüler Sistem	Plus	Polipropilen bitkilendirme modülü içinde özel karışımlı toprak dolgu Mevcut duvara metal çerçeve destekler ile montaj	Standart 760 mm modül yüksekliği Standart 590 mm modül genişliği Standart 190 mm modül kalınlığı	-	DLr: 22.7 dB	Bitkilendirme cepleri (115x70 mm) içinde yetişebilen çalı türleri
Dikey Bio-Bariyer Modüler Sistem	Extensive System	Yüksek yoğunluklu polietilen bitkilendirme modülü içinde özel karışımlı toprak dolgu Mevcut duvara paslanmaz çelik destekler ile montaj	Standart 600 mm modül yüksekliği Standart 600 mm modül genişliği Standart 90 mm modül kalınlığı 90 kg/m ² kütle ağırlığı	Sınıf: A2 (4-7 dB) 7 dB	-	Bitkilendirme cepleri (115x70 mm) içinde yetişebilen bitki türleri

Plus, polipropilen bitkilendirme modülü içinde özel karışimli toprak dolgu içinde bitkilendirme uygulaması ile oluşturulan bio-bariyer sistemidir. Modüler sistem uygulaması ile 22 dB gürültü azalması sağlanabileceği belirtilmektedir. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem görseli verilmiştir (Görsel 4.16).

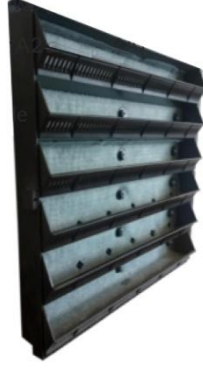


Görsel 4.16. Dikey bio-bariyer modüler sistem ürün uygulaması

(Plus)

Extensive System, yüksek yoğunluklu polietilen bitkilendirme modülü içinde özel karışimli toprak dolgu içinde bitkilendirme uygulaması ile oluşturulan bio-bariyer

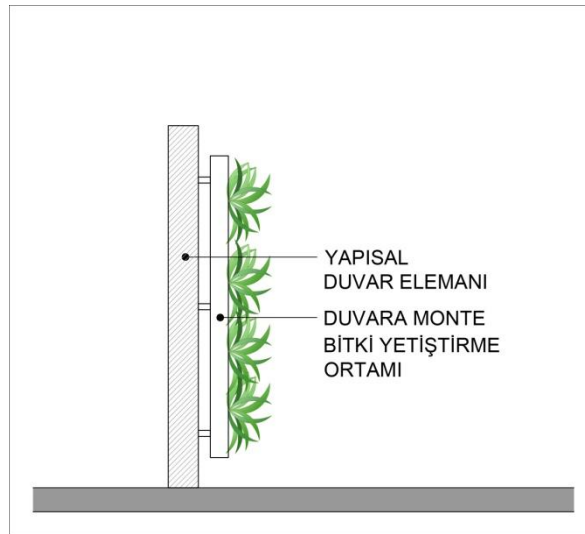
sistemidir. Modüler sistem uygulaması ile 7 dB gürültü yutulması sağlanabileceği belirtilmektedir. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem görseli verilmiştir (Görsel 4.17).



Görsel 4.17. Dikey bio-bariyer modüler sistem ürün uygulaması
(Extensive System)

Bio-bariyer uygulamalarında kullanılan, dikey bahçe sistemlerinin akademik kaynaklarda çalışılmış olan tanım ve görsellerinin değerlendirilmesi beraberinde ürün bilgileri ile desteklenmesi ile yapım sistemine yönelik tanımlama yapılmış ve hazırlanan tip kesit ile görselleştirilmiştir.

Dikey bahçeler (yaşayan duvarlar); bitkilerin önceden hazırlanmış ya da yerinde uygulanmış modüler içinde yetiştirildiği, yapı elemanı yüzeyine asılan panellerle uygulanan dikey yeşil sistem çeşididir. Aşağıda yapım sistemine yönelik hazırlanmış olan tip kesit verilmektedir (Şekil 4.5).



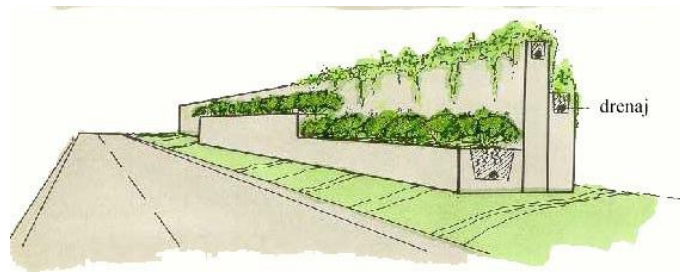
Şekil 4.5. Dikey bahçe uygulaması tip kesiti

Dikey bahçe uygulamaları ile ilgili akademik kaynaklarda konstrüksiyon sistemleri ile ilgili bilgi verilmiş ve bu sistemlerin gürültü bariyerleri üzerine uygulanması ile sağlanan bariyer performansları hakkında çalışmalar yapılmıştır. Bu uygulamalar ile teşkil edilen bio-bariyer ürünlerinden; malzeme özellikleri, modül şekilleri, katmanlaşma nitelikleri ve sistem performansları hakkında ek bilgi sağlanmıştır

4.4.2. Oluklu Bio-Bariyerler

Oluklu bio-bariyerler ile ilgili çalışmış olan akademik kaynak içeriklerinde sistem uygulamaları gruplandırmalarına ilişkin farklılıklar bulunduğu ve aynı tanımdaki bio-bariyer uygulamasının, farklı kaynaklarda farklı isimlendirmeler ile ele alınmış olduğunun belirlenmesi üzerine; kaynak içerikleri derlenerek ortak bir başlık ve tanım oluşturulmuştur.

(Farnham & Beimborn, 1990); oluklu bio-bariyer sistemini türünü “Dikim Oluklarında Bitkilendirme” olarak genel kapsamda tanımlamıştır. Sistem uygulamasında, duvar yapısında dikim için oluklar tasarlanır ve yetiştirici seviyeleri kademeli bir etki sağlamak üzere değiştirilebilir. Tercihen sulama sistemi oluklar içinde kurgulanabilir. Bitkisel tasarımda saksı bitkileri ile kısıtlı kalınması ve çok katmanlı tasarım bu sistemin dezavantajları olarak belirtilmiştir. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem kesiti verilmektedir (Şekil 4.6).

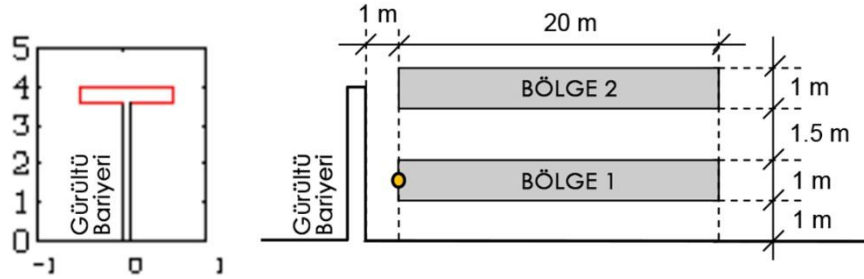


Şekil 4.6. Bariyer duvarında dikim olukları

(Farnham & Beimborn, 1990)

(HOSANNA, 2009); mevcut gürültü bariyerlerinin üst kenarı boyunca bitki örtüsü dikilmesi ile gürültü azalmasının sağlanabileceğini; bariyer tepe profilleri içinde bırakılacak yetiştirme ortamı ile akustik performansın artırılabilirliğini belirtmiştir. Bariyerin 1 metre arkasında hareket eden bir yaya veya bisikletçi için 4 metrelik bir

bariyer duvarının üzerine uygulanacak 1.20 metre yüksekliğinde dikim oluğu içeren bir tepe profili ile 6-13 dB(A) ek gürültü azalması sağlanabilir. Üzerinde çalışılan bariyere ilişkin kesit ve ek gürültü kaybı değerleri tablosu üzerinde verilmiştir.



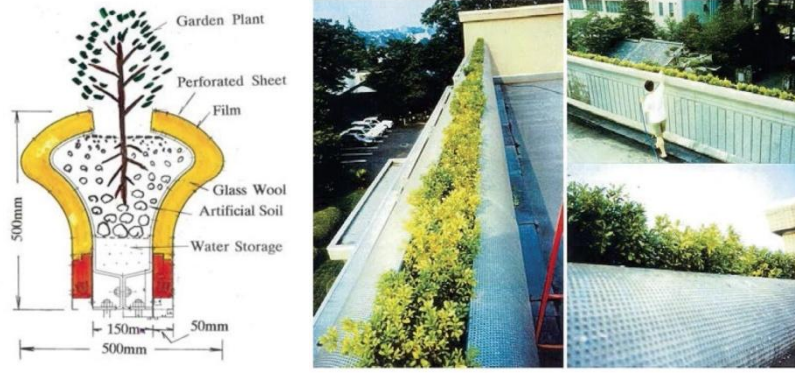
Şekil 4.7. Bitkilendirilmiş tepe profili kesiti
(HOSANNA, 2009)

Tablo 4.6. Bitkilendirilmiş tepe profili ek gürültü kaybı
(HOSANNA, 2009)

T - Formlu Bitkilendirilmiş Kabuk

Ek Kayıp	Kaldırım	Bölge 1	Bölge 2
$IL_{ref, rigid}$	21.9	19.5	15.8
ΔIL (40 cm)	6.1	3.4	1.9
ΔIL (60 cm)	8.2	4.3	2.5
ΔIL (80 cm)	9.8	5.1	3.0
ΔIL (100 cm)	11.2	5.8	3.4
ΔIL (120 cm)	12.5	6.4	3.8
ΔIL (140 cm)	13.7	7.0	4.2

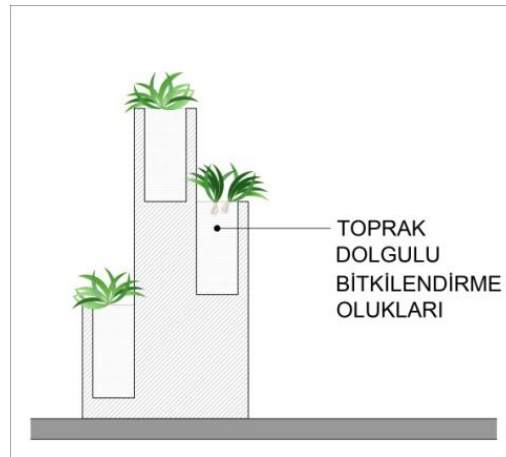
(Yamamoto, 2015); duvar yapısı içindeki boşluklarda yapılacak bitkilendirme uygulaması için bariyer tepe profili üzerinde çalışmışlardır. Camyünü dolgulu, delikli sac yüzeyli, mantar başlıklı tepe profili dikim oluğu olarak tasarlanmış; oluk içinde sulama sistemi ve toprak dolgu uygulaması yapılarak bariyer performansı test edilmiştir. Sonuçlar, bitkilendirme uygulamasının mevcut durum ile aynı performansa sahip olduğunu göstermiştir. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem kesiti ve uygulama fotoğrafları verilmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Bariyer tepe profilinde dikim olukları
(Yamamoto, 2015)

Bio-bariyer uygulamalarında kullanılan, bariyer yapısında dikim olukları içeren bu sistemlerin akademik kaynaklarda çalışılmış olan tanım ve görsellerinin değerlendirilmesi ile yapım sistemine yönelik tanımlama yapılmış ve hazırlanan tip kesit ile görselleştirilmiştir.

Oluklu bio-bariyerler; yapısal bariyer formunda bitkilendirmeye elverişli hazne tasarımlarıyla bitkilendirme ortamı oluşturulan gürültü bariyerleridir. Bariyer yapısı içinde bırakılan oluk boşluklarında toprak dolgu ve bitkilendirme uygulaması ile de bitkinin yetiştiği yüzey seviyesi değişikliği ile kademeli bir etki sağlanabilir. Aşağıda yapım sistemine yönelik hazırlanmış olan tip kesit verilmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Oluklu bio-bariyer tip kesiti

Akademik kaynaklarda bio-bariyer türü olarak ele alınmamış olan bu başlık, uygulama önerileri ve uygulanmış örneklerin referans gösterilmesiyle ve uygulamaların ortak bir başlıkta tanımlanmasıyla; bio-bariyer yapım sistemleri kapsamına alınmıştır.

nitelikleri incelenmiştir. Aşağıda, sistem içeriğinde imal edilmekte olan bio-bariyer türlerine ilişkin ürün niteliği tablosu bulunmaktadır (Tablo 4.7). İçeriğin oluşturulmasındaki hedef ürün özellikleri olduğundan; firma isimlerine yer verilmemiş olup, ürün isimleri üzerinden ilerlenmiştir. Firma bilgilerinin referanslarına Ek 4 içeriğinden ulaşılabilir.

Tablo 4.7. Çerçevesiz bio-bariyer ürünleri

Bio-Bariyer Türü	Ürün Nitelikleri					
	Ürün Bilgisi	Taşıyıcı Sistem Özellikleri	Yüzey Özellikleri	Bariyer Performansı		Bitki Türü
				Yutma	Azaltma	
Çerçevesiz Bio-Bariyer	Version Kompakt	Galvanize çelik bitkilendirme sistemi içinde özel karışım toprak dolgu	Standart 1.20 ila 2.10 m gövde yüksekliği Standart 0.71 ila 0.90 m gövde kalınlığı	Yüksek Yutuculuk	DLr: 40 dB üzeri	Bitkilendirme cepleri içinde yetişebilen bitki türleri

Version Kompakt, galvanize çelik bitkilendirme sistemi içinde özel karışım toprak dolgu bitkilendirme cepleri içinde yetişebilen çalı türleri ile oluşturulan bio-bariyer ürün sistemidir. 1.20 m ila 2.10 m yükseklikte ve 0.71 ila 0.90 m kalınlıktaki bariyer uygulaması ile 40 dB üzeri gürültü azalması sağlanabileceği belirtilmektedir. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem kesiti verilmiştir (Şekil 4.11).

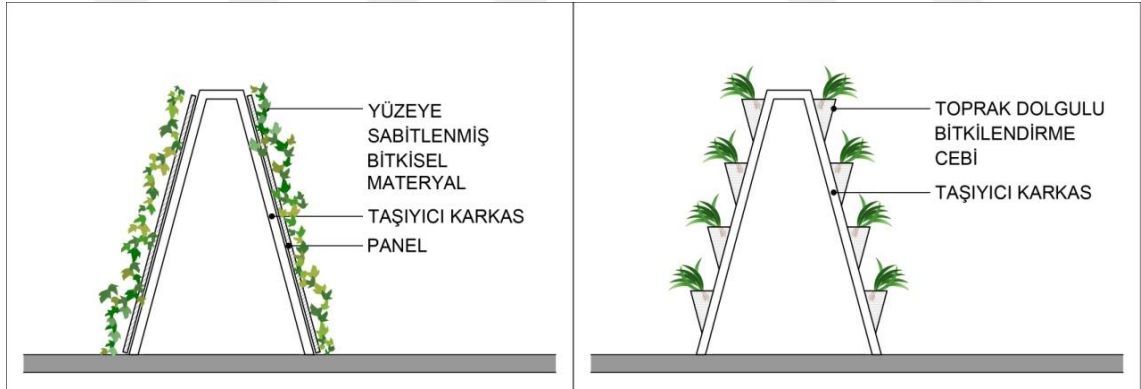


Şekil 4.11. Çerçevesiz taşıyıcı sistem üzerine asılı dikim ortamı içinde bitkilendirme (Version Kompakt)

Bio-bariyer uygulamalarında kullanılan, çerçeve sistemlerin akademik kaynaklarda çalışılmış olan tanım ve görsellerinin değerlendirilmesi beraberinde ürün bilgileri ile desteklenmesi ile yapım sistemine yönelik tanımlama yapılmış ve hazırlanan tip kesit ile görselleştirilmiştir.

Çerçeve bio-bariyerler; zemine sabitlenmiş, açılı yerleşimli, çerçeve taşıyıcı sistem yüzeyinde ya da sisteme asılı dikim ortamı içinde yapılacak bitkilendirme uygulamalarını kapsamaktadır. Çerçeve taşıyıcı sistem ve yansıtıcı ya da yutucu paneller ile tasarlanmış bariyer yüzeyinde bağlantı elemanları kullanılarak bitkisel materyalin sabitlenmesiyle bitki büyüme ortamı oluşturulan ya da çerçeve taşıyıcı sistem ve dikim haznesi işlevli yansıtıcı paneller ile tasarlanmış bariyer içinde toprak dolgu uygulamalarıyla bitkilendirme ortamı oluşturulan gürültü bariyerleridir.

Bariyer yüzeyinde karkas taşıyıcı sistem aks aralıklarında uygulanacak yutucu ya da yansıtıcı levhalar ile bariyer sistemine asılı dikim ortamındaki toprak dolgu ve bitkisel materyalin yutuculuk özelliği ile gürültü azalması sağlanmaktadır. Aşağıda yapım sistemine yönelik hazırlanmış olan tip kesit verilmektedir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Çerçeve bio-bariyer tip kesiti

Çerçeve bio-bariyer uygulamaları; akademik kaynak içeriğinde belirtildiği üzere, çerçeve sistem üzerinde sarıcı-tırmanıcı bitkiler ile teşkil edilmesinin yanı sıra, üretici firmalardan alınan bilgi dahilinde, çerçeve sistem üzerine asılı bitkilendirme cepleri sağlanmasıyla da oluşturulabilir. Bu uygulamalar ile teşkil edilen bio-bariyer ürünlerinden; sistemin boyut ve katmanlaşma niteliğine bağlı olarak akustik performansı hakkında ek bilgi sağlanmıştır.

4.4.4. Destekli Bio-Bariyerler

Destekli bio-bariyerler ile ilgili çalışmış olan akademik kaynak içeriklerinde sistem uygulamaları gruplandırmalarına ilişkin farklılıklar bulunduğu ve aynı tanımdaki bio-bariyer uygulamasının, farklı kaynaklarda farklı isimlendirmeler ile ele alınmış olduğunun belirlenmesi üzerine; kaynak içerikleri derlenerek ortak bir başlık ve tanım oluşturulmuştur.

(Kotzen & English, 1999), destekli bio-bariyer türünü “Kutu Duvar Bio-Bariyerler” olarak tanımlamışlardır. Kutu duvar bio-bariyerler, destekleri olan bir çelik ağ çerçevesinin içinde bir toprak duvarı içermektedir. Toprak karışımı geotekstil veya polietilen bir tabaka içinde bulunur. Toprak karışımı kullanılan bitki türlerine göre ayarlanır. Dikim çeliğin dikey kenarlarında aralıklarla çelik ağ üzerinden, geotekstil veya polietilen içine kesilmiş deliklerde sokulur. Bariyer 6 m'den daha yüksek bir yapıya sahip olabilir, ancak mevcut kutu duvarındaki biyolojik engeller 2-4 m yüksekliğindedir. Bariyer yaklaşık 0,6 m genişliğinde olduğu için sulama gereklidir. Bitkilerin kurulduğu bir mineral yün çekirdeğini kullanan topraksız kutu duvar bariyerleri mevcuttur. Mineral yün katmanı nem emerek ve muhafaza ederek besini kılcallar aracılığıyla bitkiye ulaştırır. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem kesiti verilmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Destekli bio-bariyer dikey duvar uygulaması

(Kotzen & English, 1999)

(Bendtsen, 2009), destekli bio-bariyer türünü “Desteklenmiş Toprak Dolgu” olarak tanımlamıştır. Bu tür bir gürültü bariyeri, toprak dolgusu için yeterli alanın olmadığı, ancak doğal görünümlü yeşil bir bariyerin istendiği yerlerde kullanılabilir. Eğimli toprak dolgu yüzeyi, 6-7 mm gözenekli plastik ağ ile desteklenir ve 10 cm

açıklıklı, 12 mm çapındaki hasır çelik ile sabitlenir. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan bariyer örneği ve yüzey detayı verilmiştir (Görsel 4.18).



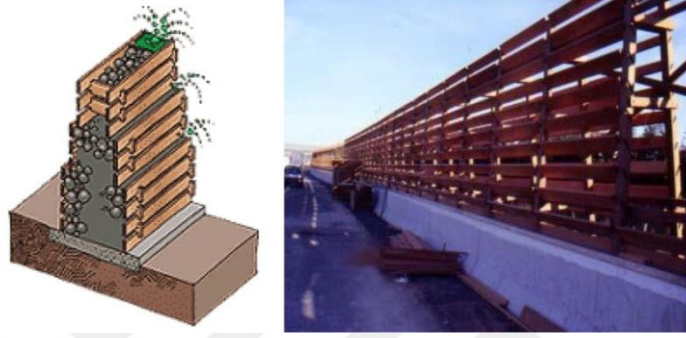
Görsel 4.18. Destekli bio-bariyer açılı duvar uygulaması
(Bendtsen, 2009)

(HOSANNA, 2009), destekli bio-bariyer türünü “Toprak ile Bitkilendirme Sistemleri Kullanımı” olarak tanımlamıştır. Sistem işlevi temel olarak; atık malzemelerden (tekstil, inşaat ve imalat endüstrilerinden) üretilen, akustik absorpsiyon, su tutma ve bitki transpirasyonu yoluyla yerel iklim değişikliği sağlayabilen bitkileri destekleyen stabil gözenekli granül bir ortam içeren bir panel sağlamaktır. Düşük yoğunluklu toprak içeren yeşil duvar, özellikle düşük ve yüksek frekans aralıklarında, daha geleneksel akustik işlem türlerine bir alternatif sunar. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem kesiti ve görseli verilmiştir (Görsel 4.19).



Görsel 4.19. Destekli bio-bariyer dikey duvar uygulaması
(HOSANNA, 2009)

(CEDR, 2017), destekli bio-bariyer türünü “Desteklenmiş Toprak Dolgular” olarak tanımlamışlardır. Toprak dolgunun ahşap, beton, çelik, plastik gibi malzemeler ile desteklenmesi ile bariyer yüzeyinde ve boşluklarında bitkilendirme yapılır. Bio-bariyer yapım sistemlerine ilişkin sınıflandırmanın yapı malzemesi temel alınarak yapıldığı görülmektedir. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan destekli bio-bariyer uygulamaları verilmiştir (Görsel 4.20, Görsel 4.21, Görsel 4.22).



Görsel 4.20. Ahşap destekli bio-bariyer uygulaması
(CEDR, 2017)



Görsel 4.21. Çelik destekli bio-bariyer uygulaması
(CEDR, 2017)



Görsel 4.22. Plastik destekli bio-bariyer uygulaması
(CEDR, 2017)

Akademik kaynak içeriklerinde sistem uygulamaları gruplandırmalarına ilişkin farklılıklar bulunduğu ve aynı tanımdaki bio-bariyer uygulamasının, farklı kaynaklarda farklı isimlendirmeler ile ele alınmış olduğu görülmektedir. Akademik kaynak içeriklerinin, uygulamaların ortak bir başlıkta tanımlanması ve üretici firmadan sağlanan ürün içeriğiyle desteklenmesiyle; bio-bariyer yapım sistemi kapsamı geliştirilmiştir.

Destekli bio-bariyer yapım sistemlerinin güncel uygulamalar doğrultusunda örneklendirilerek sistem içeriklerini geliştirmek üzere; üretici firmalar araştırılarak ürün nitelikleri incelenmiştir. Aşağıda, sistem içeriğinde imal edilmekte olan bio-bariyer türlerine ilişkin ürün niteliği tablosu bulunmaktadır (Tablo 4.8). İçeriğin oluşturulmasındaki hedef ürün özellikleri olduğundan; firma isimlerine yer verilmemiş olup, ürün isimleri üzerinden ilerlenmiştir. Firma bilgilerinin referanslarına Ek 4 içeriğinden ulaşılabilir.

Tablo 4.8. Destekli bio-bariyer ürünleri

Bio-Bariyer Türü	Ürün Nitelikleri				
	Ürün Bilgisi	Taşıyıcı Sistem Özellikleri	Yüzey Özellikleri	Bariyer Performansı	Bitki Türü
Destekli Bio-Bariyer	Compacta	Çelik kafes sistem içinde özel karışımli toprak dolgu	Maksimum 4 m bariyer yüksekliği Standart 450 mm modül kalınlığı 600 kg/m ² kütle ağırlığı	-	Sımf: B3 (25-34 dB) R: 26 dB Toprak dolgu modüller içinde yetişebilen çalı türleri
Destekli Bio-Bariyer	Elementa	Çelik profil çerçeve ile imal edilmiş galvanize çelik kafes sistem içinde özel karışımli toprak dolgu	Standart 400 mm modül yüksekliği Standart 400-800-1200 mm modül genişliği Standart 400 mm modül kalınlığı	-	DLR: 24.1 dB Toprak dolgu modüller içinde yetişebilen çalı türleri
Destekli Bio-Bariyer	Eco Barrier	Çelik profil taşıyıcı ve çelik kafes çerçeve içinde toprak dolgu	Toprak dolgu üzeri Hindistan cevizi lifi ya da elyaf yünü katman üzeri çelik kafes çerçeve	Yüksek Yutuculuk	67 dB Yüzey üzerinde tutunabilen ve modül içinde yetişebilen bitki türleri

Compacta ve Elementa, elik kafes sistem içinde toprak dolgu uygulaması ile oluşturulmuş olan modüllerin duvar blokları olarak kullanılarak bariyer teşkil edilmesine yönelik ürün sistemleridir. Toprak dolgulu modüller içinde yetişebilen ve dikey yüzeyde tutunabilen çalı türleri ile bitkilendirme yapılmaktadır. 400 ve 450 mm duvar kalınlığına sahip bu sistemler ile 24.1 ve 26 dB üzeri gürültü azalması sağlanabileceği belirtilmektedir. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem görselleri verilmiştir (Görsel 4.23).



(Compacta)



(Elementa)

Görsel 4.23. Destekli bio-bariyer modüler duvar ürün uygulaması

Eco Barrier, elik profil taşıyıcı ve elik kafes ereve içinde toprak dolgu uygulaması ile bariyer duvarı oluşturulmasına yönelik ürün sistemidir. Toprak dolgunun sabitlenebilmesi için dolgu zerine Hindistan cevizi lifi ya da elyaf yn uygulanır ve yüzey elik kafes ile sonlandırılır. elik kafes toprak dolguya bitki dikiminin yapılabilmesi ve yüzeyde bitkilerin tırmanabilmesi için uygun yüzey oluşturur. Yüksek yutuculuk zelliliğindeki bariyerin 67 dB gürültü azalması sağladığı belirtilmiştir.

Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem görselleri verilmiştir (Görsel 4.24).

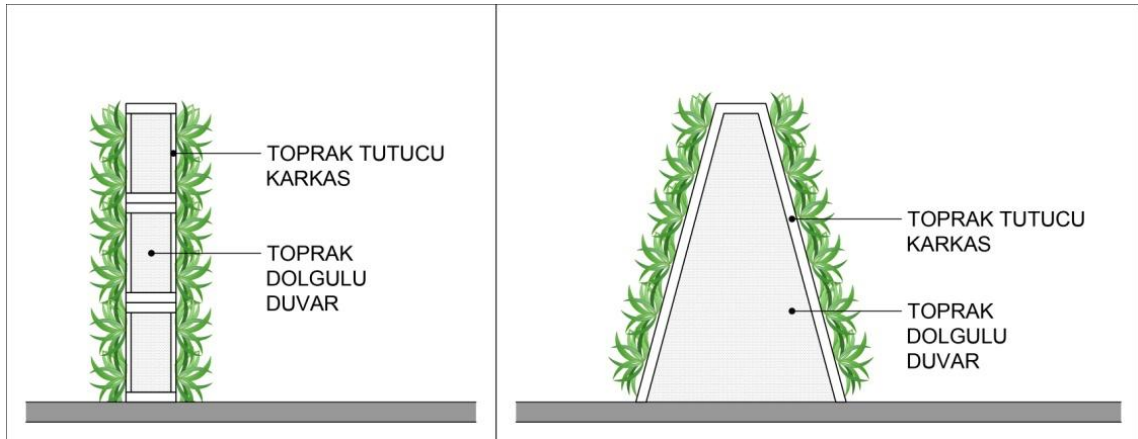


(Eco Barrier)

Görsel 4.24. Destekli bio-bariyer açılı duvar ürün uygulaması

Bio-bariyer uygulamalarında kullanılan, destekli sistemlerin akademik kaynaklarda çalışılmış olan tanım ve görsellerinin değerlendirilmesi beraberinde ürün bilgileri ile desteklenmesi ile yapım sistemine yönelik tanımlama yapılmış ve hazırlanan tip kesit ile görselleştirilmiştir.

Destekli bio-bariyerler; toprak dolgu yüzeyinde toprak tutucu sistem uygulamalarıyla bitkilendirme ortamı oluşturulan gürültü bariyerleridir. Toprak dolgulu modüller ya da toprak dolgulu yüzeyler ile oluşturulabilirler. Toprak dolgulu modüller bio-bariyer duvarının yapımında blok işlevi görmektedir. Toprak dolgulu yüzeylerle bio-bariyer duvarı toprak dolgu ile oluşturulmaktadır. Toprak dolgu ve bitkisel materyalin yutuculuk özelliği ile gürültü azalması sağlanmaktadır. Aşağıda yapım sistemine yönelik hazırlanmış olan tip kesit verilmektedir (Şekil 4.14).



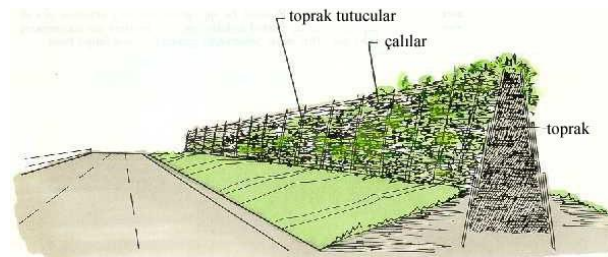
Şekil 4.14. Destekli bio-bariyer tip kesiti

Destekli bio-bariyer uygulamaları; akademik kaynak içeriğinde belirtildiği üzere, konstrüksiyon yapısının toprak ile doldurulması ile teşkil edilmesinin yanı sıra, üretici firmalardan alınan bilgi dahilinde, modüler olarak da yapılabilmektedir. Bu uygulamalar ile teşkil edilen bio-bariyer ürünlerinden; sistemin boyut, yüzey özellikleri katmanlaşma niteliğine bağlı olarak akustik performansı hakkında ek bilgi sağlanmıştır.

4.4.5. Yaşayan Bio-Bariyerler

Yaşayan bio-bariyerler ile ilgili çalışmış olan akademik kaynak içeriklerinde sistem uygulamaları gruplandırmalarına ilişkin farklılıklar bulunduğu ve aynı tanımdaki bio-bariyer uygulamasının, farklı kaynaklarda farklı isimlendirmeler ile ele alınmış olduğunun belirlenmesi üzerine; kaynak içerikleri derlenerek ortak bir başlık ve tanım oluşturulmuştur.

(Farnham & Beimbom, 1990), yaşayan bariyerleri; duvar elemanı olarak toprak ve bitkisel materyalin kullanıldığı gürültü bariyeri türü olarak tanımlamıştır. Duvarın kendisi ana malzeme olarak toprak ve bitkiler kullanarak tasarlanmaktadır. Büyüme ortamı olarak işlev gören dikey toprak duvarlar, dokunmuş söğüt dallarıyla iç içe beyaz söğüt dikmelerinden oluşan bir çerçevede bulunur. Dallar filizlenir, yapıyı örter ve duvara benzer bir çit görünümü verir. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem kesiti verilmektedir (Şekil 4.15).

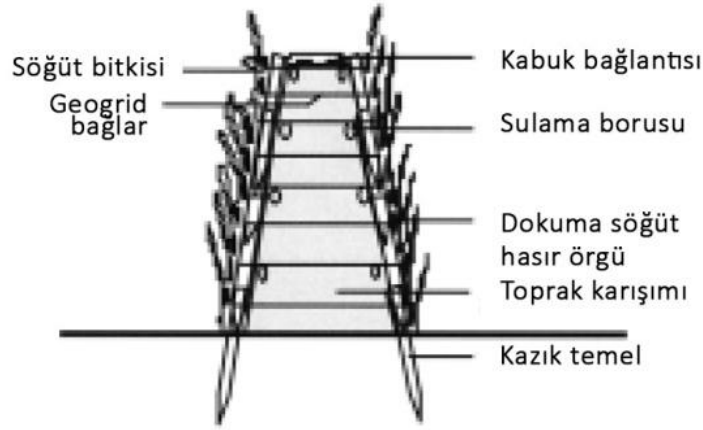


Şekil 4.15. Yaşayan bio-bariyer uygulaması

(Farnham & Beimbom, 1990)

(Kotzen & English, 1999), yaşayan bariyerleri; "Söğüt Örgüsü Bio-Bariyerler" olarak tanımlamıştır. Söğüt örgüsü bariyerler, söğüt dallarının toprakla doldurulmuş büyük bir sepet oluşturmak üzere örüldüğü dikey çitlerle desteklenen patentli bir buluştur. Konstrüksiyon çitler, bağlar ve ipler kullanılarak güçlendirilmiştir. Söğüt, her mevsim yaklaşık 2 m hızla büyür. Söğüt duvarlar etkili bir bariyer oluşturabilir, ancak

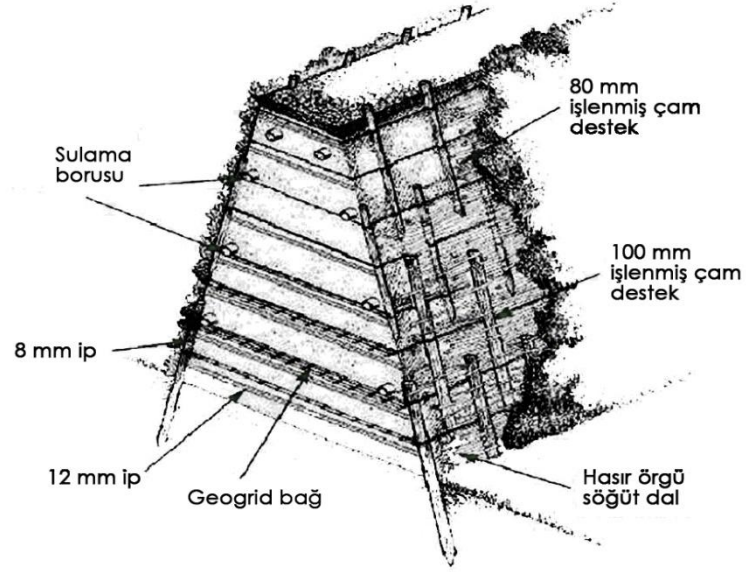
yapının yeterince sağlam olmasına özen gösterilmelidir. Deneyimler, yatay söğüt dallarının çoğunlukla kök salmadığını ve yapıya ekstra bir stabilite vermediğini göstermiştir. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem kesiti verilmektedir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. *Toprak dolgulu yaşayan bio-bariyer*
(Kotzen & English, 1999)

Yaşayan bio-bariyerler ilk olarak; söğüt dallarının dokuma olduğu duvarın dış yüzlerini oluşturan, hasır bir sepete benzer şekilde ve dokuma ilerledikçe, çekirdeğin toprakla doldurulduğu iki paralel direk kümesinden oluşturulmuştur. Bu uygulamada her metre yükseklikte iç sulama boruları ve yapısal destek için yan çubuklar monte edilir. Dokuma söğüt daha sonra dıştan yeni sürgünler ve iç çekirdekteki kökleri oluşturarak yapımdan sonraki bir yıl içinde toplam yaprak kaplamasını sağlar. Tipik bir duvar yaklaşık 2.5m'lik bir taban genişliğine ve 4.0m'lik bir yüksekliğe sahip olabilir. (Dobson & Ryan, 2000)

(Watts & Morgan, 2005), yaşayan bariyerleri; "Söğüt Örgüsü Bariyerler" olarak tanımlamıştır. Söğüt örgüsü bariyerler, toprak dolgu üzerinde örülmüş söğüt dallarının gelişmesi ile elde edilir. Toprak dolgu yerine yutucu malzeme ya da bir yüzeyde ahşap kaplama kullanılabilir. Toprak duvar bir dizi yatay boru ile sulanır. Sulama ihtiyacı ile birlikte, bu bariyerler düzenli olarak budamaya ihtiyaç duyar. Yetersiz sulama ve bakım nedeniyle bir çok uygulamanın başarısız olduğunu belirlenmiştir. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan bir yüzeyi ahşap kaplamalı sistem kesiti verilmektedir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Ahşap yüzey kaplamalı yaşayan bio-bariyer
(Watts & Morgan, 2005)

Aşağıdaki görselde, her iki tarafta dal örgüsü ile oluşturulan yüzeyler ile yapılmış söğüt örgüsü bio-bariyerin yeni yapıldığında ve yeşillendikten sonraki durumları gösterilmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Dal örgü yüzey kaplamalı yaşayan bio-bariyer
(Bendtsen, 2009)

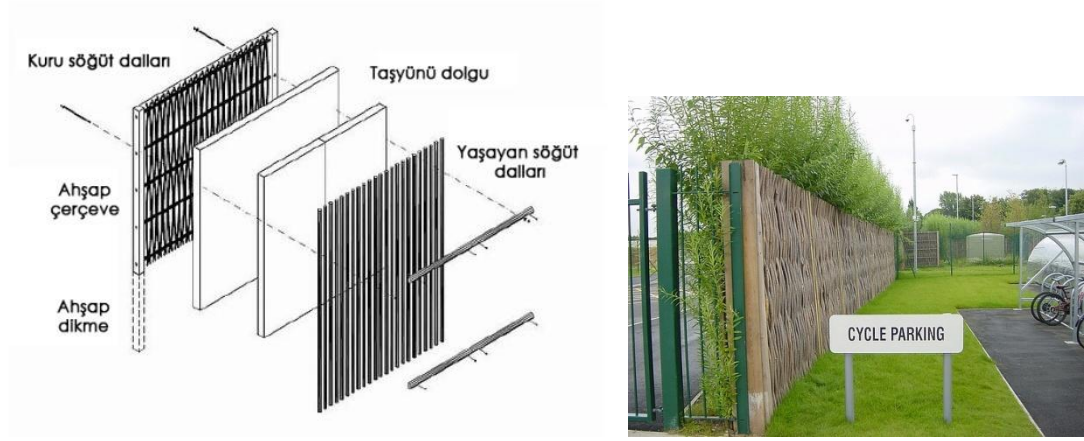
Akademik kaynak içeriklerinde sistem uygulamaları gruplandırmalarına ilişkin farklılıklar bulunduğu ve aynı tanımdaki bio-bariyer uygulamasının, farklı kaynaklarda farklı isimlendirmeler ile ele alınmış olduğu görülmektedir. Akademik kaynak içeriklerinin, uygulamaların ortak bir başlıkta tanımlanması ve üretici firmadan sağlanan ürün içeriğiyle desteklenmesiyle; bio-bariyer yapım sistemi kapsamı geliştirilmiştir.

Yaşayan bio-bariyer yapım sistemlerinin güncel uygulamalar doğrultusunda örneklendirilerek sistem içeriklerini geliştirmek üzere; üretici firmalar araştırılarak ürün nitelikleri incelenmiştir. Aşağıda, sistem içeriğinde imal edilmekte olan bio-bariyer türlerine ilişkin ürün niteliği tablosu bulunmaktadır (Tablo 4.9). İçeriğin oluşturulmasındaki hedef ürün özellikleri olduğundan; firma isimlerine yer verilmemiş olup, ürün isimleri üzerinden ilerlenmiştir. Firma bilgilerinin referanslarına Ek 4 içeriğinden ulaşılabilir.

Tablo 4.9. Yaşayan bio-bariyer ürünleri

Bio-Bariyer Türü	Ürün Nitelikleri				
	Ürün Bilgisi	Taşıyıcı Sistem Özellikleri	Yüzey Özellikleri	Bariyer Performansı	
				Yutma	Azaltma
Yaşayan Bio-Bariyer	The Green Element 240 mm Core	Ahşap çerçeve	Yaşayan söğüt dal örgüsü, taş yünü yutucu panel (240 mm) üzeri hasır çelik çerçeve ya da kuru söğüt dal örgüsü	Sınıf: A2 (4-7 dB) DLA: 5 dB	Sınıf: B3 (25-34 dB) DLR: 32 dB
Yaşayan Bio-Bariyer	Acoustic120 Economy	Aluminyum çerçeve içinde özel karışımli toprak dolgu	Yaşayan söğüt dal örgüsü, taş yünü yutucu panel (120 mm) üzeri kuru söğüt dal örgüsü Standart 1500-2500 mm modül yüksekliği, 3960 mm genişliği, 122 mm kalınlığı 35 kg/m ² kütle ağırlığı	α : 0.85	R: 30 dB (1000 Hz)

The Green Element; ahşap çerçeve taşıyıcı sistem aksları arasında, bir yüzeyde kuru söğüt dal örgüsü ve diğer yüzeyde yaşayan söğüt dal örgüsü ile desteklenen taş yünü ses yutucu panel ile oluşturulan ürün sistemidir. 240 mm taş yünü katmanı kalınlığına sahip bu sistem ile 32 dB gürültü azalması sağlanabileceği belirtilmektedir. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem kesiti ve görselleri verilmiştir (Şekil 4.19).



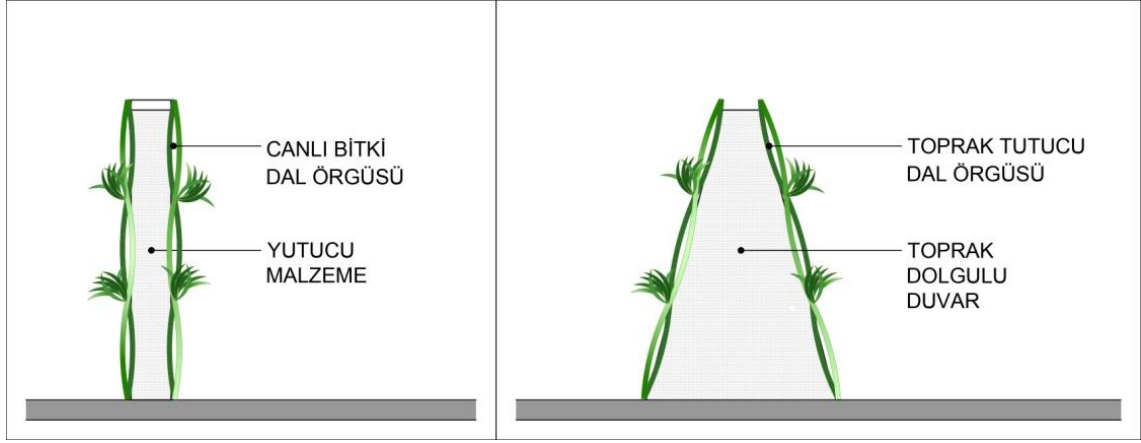
Şekil 4.19. Yutucu malzeme dolgulu yaşayan bio-bariyer

(The Green Element)

Acoustic 120; yukarıdaki ürün ile aynı katmanlaşma özelliklerine sahip olan bariyer sistemidir ve 120 mm taşyünü katman kalınlığı ve 35 kg/m² kütle ağırlığı ile 30 dB gürültü azalması sağlayabilmektedir.

Bio-bariyer uygulamalarında kullanılan, yaşayan sistemlerin akademik kaynaklarda çalışılmış olan tanım ve görsellerinin değerlendirilmesi beraberinde ürün bilgileri ile desteklenmesi ile yapım sistemine yönelik tanımlama yapılmış ve hazırlanan tip kesit ile görselleştirilmiştir.

Yaşayan bio-bariyerler; yutucu malzeme ya da toprak dolgu ile oluşturulan bariyer yüzeyinde yaşayan bitki dallarının örülmesiyle bitki büyüme ortamı oluşturulan gürültü bariyerleridir. Yaşayan bio bariyerin duvar niteliği ve bitkisel materyalin yutuculuk özelliği ile gürültü azalması sağlanmaktadır. Yüksek frekanslı (2000 Hz üzerinde) gürültünün azaltılmasında bitki örtüsü, düşük frekanslı (250 ila 500 Hz) gürültünün azaltılmasında ise zeminin yutucu özellikleri etkilidir; düşük ve yüksek frekanslı gürültü azalmasının sağlanabilmesi için Hollanda'da geliştirilen 'Yaşayan Söğüt Bariyerler' etkili olmaktadır (Huddart, 1990). Aşağıda yapım sistemine yönelik hazırlanmış olan tip kesit verilmektedir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Yaşayan bio-bariyer tip kesiti

Yaşayan bio-bariyer uygulamaları; akademik kaynak içeriğinde belirtildiği üzere, toprak dolgu üzerinde örülmüş söğüt dallarının gelişmesi ile oluşturulmasının yanı sıra, üretici firmalardan alınan bilgi dahilinde, yutucu özellikteki panel yüzey üzerinde de yapılabilmektedir. Bu uygulamalar ile teşkil edilen bio-bariyer ürünlerinden; yüzey özellikleri ve katmanlaşma niteliğine bağlı olarak bariyer performansları hakkında bilgi sağlanmıştır.

4.4.6. Yığın Bio-Bariyerler

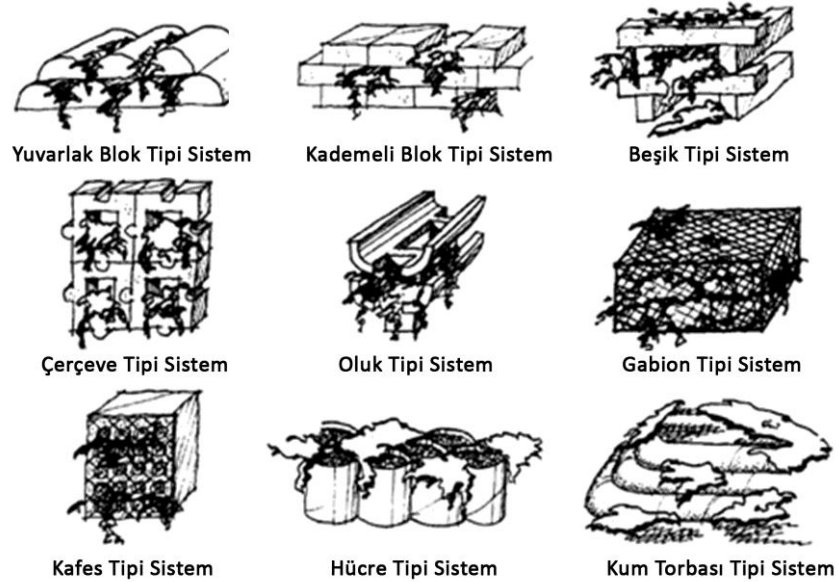
Yığın bio-bariyerler ile ilgili çalışmış olan akademik kaynak içeriklerinde sistem uygulamaları gruplandırmalarına ilişkin farklılıklar bulunduğu ve aynı tanımdaki bio-bariyer uygulamasının, farklı kaynaklarda farklı isimlendirmeler ile ele alınmış olduğunun belirlenmesi üzerine; kaynak içerikleri derlenerek ortak bir başlık ve tanım oluşturulmuştur.

(Kotzen & English, 1999), yığın bio-bariyerleri birbiri üzerine istiflenmiş prekast birimlerin duvarları olarak tanımlamıştır. Çoğu tabandan daha geniş başlar ve duvar yukarı doğru ilerledikçe her kattaki birim sayısı azalır. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem görselleri verilmiştir. Yığın bio-bariyerler, farklı istiflenebilir toprak tutma sistemleri olarak uygulanabilir. Çelik istifleme sistemleri, galvanize çelik bir çerçeve üzerine asılan hafif toprak dolgulu kaplamalı çelik ceplerin içine bitkilendirme uygulaması yapılmasıyla oluşturulur. Ünitenin tabanı 5 m yükseklikte yaklaşık 1,6 m genişliğindedir. Bariyer yüzleri dikeyden 10 ° açılıdır. (Kotzen & English, 1999) Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem kesiti ve görselleri verilmiştir (Görsel 4.25).



Görsel 4.25. Çelik yığın bio-bariyer
(Kotzen & English, 1999)

(Thompson & Sorvig, 2008), yığın bio-bariyerleri "Yeşil Duvar Yapım Sistemleri" olarak tanımlamıştır. Eğimin tutulması için uygulanan bu sistemler, yağmur suyu kontrolü ve bitkisel materyal işlevlerinin avantajlarını kullanarak peyzaj uygulamaları için geçirimsiz istinat duvarları oluşturulmasını sağlamaktadır. Prekast elemanlar farklı biçimlerde üretilmekte ve formlarına göre isimlendirilmektedir. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan blok, beşik, çerçeve, oluk, gabion, kafes, hücre ve kum torbası tipi istifleme sistemlerinin şekilleri verilmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Prekast yığın bio-bariyer yapım sistemleri
(Thompson & Sorvig, 2008)

Blok tipi sistemler bitkilerin kök saldığı boşluklar içeren, beşik tipi sistemler beton ya da ahşap elemanların diziliminde boşluklar bırakılan, çerçeve tipi sistemler modül ortasında boşluklar bulunduran, oluk tipi sistemler üzerinde toprak dolgulu oluklar içeren, gabion sistemler taş dolu geçirgen kafes sistem boşlukları bulunduran, kafes tipi sistemler toprak dolgulu kafes sistem boşlukları bulunduran, hücre tipi sistemler toprak dolgulu petekler içeren, kum torbası tipi sistemler ise dokuma ya da keçe benzeri sentetik filtre kumaşları ile oluşturulan geotekstil malzemelerle yapılan istifleme sistemleridir.

Aşağıdaki görselde, üst üste istiflenmiş toprak dolgulu prekast beton elemanlarla oluşturulmuş bağımsız konumlanmış bio-bariyer uygulaması örneği verilmektedir (Görsel 4.26).



Görsel 4.26. *Prekast yığın bio-bariyer*

(Bendtsen, 2009)

Akademik kaynak içeriklerinin, üretici firmadan sağlanan ürün içeriğiyle desteklenmesi ve uygulamaların ortak bir başlıkta tanımlanmasıyla; bio-bariyer yapım sistemi kapsamı geliştirilmiştir.

Yığın bio-bariyer yapım sistemlerinin güncel uygulamalar doğrultusunda örneklendirilerek sistem içeriklerini geliştirmek üzere; üretici firmalar araştırılarak ürün nitelikleri incelenmiştir. Aşağıda, sistem içeriğinde imal edilmekte olan bio-bariyer türlerine ilişkin ürün niteliği tablosu bulunmaktadır (Tablo 4.10). İçeriğin oluşturulmasındaki hedef ürün özellikleri olduğundan; firma isimlerine yer verilmemiş olup, ürün isimleri üzerinden ilerlenmiştir. Firma bilgilerinin referanslarına Ek 4 içeriğinden ulaşılabilir.

Tablo 4.10. Yığın bio-bariyer ürünleri

Bio-Bariyer Türü	Ürün Nitelikleri					
	Ürün Bilgisi	Taşıyıcı Sistem Özellikleri	Yüzey Özellikleri	Bariyer Performansı		Bitki Türü
				Yut ma	Azal tma	
Yığın Bio-Bariyer	Vegetated Sound Structures	Üst üste istiflenmiş prekast beton elemanların yatayda birbirine bağlanmasıyla oluşturulan ızgaralar içinde toprak dolgu	1.40 m duvar kalınlığı	-	40-60 dB	Toprak dolgu modüller içinde yetişebilen bitki türleri
Yığın Bio-Bariyer	Retaining Walls	Üst üste istiflenmiş su ve hava geçirebilen ve yatayda polipropilen kilitleme tablaları ile birbirine sabitlenen modüler torbalar içinde toprak dolgu	(Abbas & diğerleri, 2011) tarafından hazırlanan prototip boyutları; 120 m uzunluk, 3.65 m yükseklik, 2.75 m kalınlık	-	Prototip sonucuna göre; 9 dB(A)	Toprak dolgu modüller içinde yetişebilen ya da tohumla filizlenebilen bitki türleri

Vegetated Sound Structures; üst üste istiflenmiş prekast beton elemanların yatayda birbirine bağlanmasıyla oluşturulan ızgaraların içinin toprak ile doldurulması ile oluşturulan ürün sistemleridir. Zeminde 1.40 m kalınlıkta yer kaplayan bu sistem ile 40-60 dB arası bir gürültü azalması sağlanabileceği ve 2.75 m VSS ile 3.05 m beton bariyer aynı miktarda performans gösterdiği belirtilmektedir. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem görselleri verilmiştir (Görsel 4.27).



Görsel 4.27. Prekast yığın bio-bariyer ürünü
(Vegetated Sound Structures)

Retaining Walls; üst üste istiflenmiş su ve hava geçirebilen ve yatayda polipropilen kilitleme tablaları ile birbirine sabitlenen modüler torbaların içinin toprak ile doldurulması ile oluşturulan ürün sistemini eğim sabitlemek üzere sunmuşlardır. (Abbas & diğerleri, 2011) tarafından ürün prototipi hazırlanarak gürültü bariyeri olarak uygulanmış ve çalışılan modeli hazırlanarak program üzerinde bariyer performansı belirlenmiştir. Aşağıda, referans kaynak kapsamında belirtilmiş olan sistem görselleri verilmiştir (Görsel 4.28).



Görsel 4.28. Torba yığın bio-bariyer ürünü
(Retaining Walls), (Abbas & diğerleri, 2011)

Program torba yığın yapısında bir gürültü bariyeri içermediğinden, analizde hem beton bariyer duvarı hem de bir toprak yığın bariyer kullanılmıştır. Aşağıdaki tabloda görüldüğü üzere, toprak yığın bariyer beton bariyerden daha yüksek bir gürültü azalmasına neden olmuştur (Tablo 4.11). Karayolu hattı üzerinde 73.5 dB(A) olan gürültü düzeyinin 120 m uzunlukta, 3.65 m yükseklikte bariyerler ile azalma miktarı aşağıdaki tabloda verilmektedir. Torba yığın bio-bariyer sisteminin gürültü azaltma performansının eğim dikleştirme, kaynağa yaklaşma ve kütle ağırlığı sebebiyle geleneksel toprak yığın bariyerden daha yüksek olması beklenmektedir.

Tablo 4.11. Torba yığın bio-bariyer ürün performansı
(Abbas & diğerleri, 2011)

Kaynaktan Uzaklık	Beton Bariyer Gürültü Azalması dB(A)	Deltalok Bariyer Gürültü Azalması dB(A)
15 m	8.9 dB(A)	9.0 dB(A)
30 m	6.5 dB(A)	6.7 dB(A)
45 m	4.5 dB(A)	4.6 dB(A)

Yığın bio-bariyerler; toprak dolgu yüzeyinde yapı ya da tekstil elemanlarının birbiri üzerine yerleştirilmesiyle modül ceplerinde ya da gözenekli yüzeylerde bitkilendirme ortamı oluşturulan gürültü bariyerleridir.

The diagram illustrates a stepped pyramid structure composed of precast concrete elements. The structure is built on a grey base. The elements are arranged in a stepped fashion, with each step having a flat top surface. The top surfaces are filled with soil, indicated by green grass growing on them. The structure is labeled with two terms: 'TOPRAK DOLGU' (Soil Filling) and 'PREKAST ELEMAN' (Precast Element). The 'TOPRAK SET' (Soil Setting) is indicated by a line pointing to the soil on the top surface of a step.

187

Yığın bio-bariyer uygulamaları; akademik kaynak içeriğinde belirtildiği üzere, toprak dolgulu modül cepler içinde bitkilendirme yapılması ile tekil edilmesinin yanı sıra, üretici firmalardan alınan bilgi dahilinde, toprak dolgulu torbaların üst üste istiflenmesiyle de yapılabilmektedir. Bu uygulamalar ile teşkil edilen bio-bariyer ürünlerinden; malzeme özellikleri ve boyutlarına bağlı olarak bariyer performansları hakkında bilgi sağlanmıştır.



5. SONUÇ

Gürültü, insan sağlığını; fiziksel, fizyolojik ya da psikolojik olarak etkilemekte ve gürültü düzeyindeki artış, sağlık sorunlarının ötesinde; bireysel şikâyetlerden toplumsal reaksiyonlara kadar etki alanını genişletebilmektedir. Gürültü probleminin etki alanı değerlendirildiğinde; kent kullanıcılarına temas eden gürültü kaynaklarının tespit edilmesi ve gürültü problemine karşı eyleme geçilmesi gerekmiştir. Çevresel gürültü kaynaklarının kent üzerindeki etki alanı; gürültü kaynağının kentsel mekâna işlevsel yayılımı ile ilişkilidir. Karayolu ulaşım ağının kent strüktürünü oluşturan temel yapı elemanı olması nedeni ile karayolu gürültüsü; kent geneline temas etmekte ve kent üzerinde yaygın bir maruziyet alanı oluşmasına sebebiyet vermektedir. Kent oluşumunun temel yapısı olarak karayolu ulaşım ağının kent içi alanlarda yüksek kullanım yoğunluğunun, kent kullanıcılarına doğrudan teması nedeni ile kent içi karayolu gürültüsü; gürültü maruziyetinde ilk sırayı almıştır. Bu nedenle tez çalışması kapsamında en fazla sayıda kullanıcının en yüksek gürültü düzeyine maruz kaldığı, kent içi karayolu gürültüsü için önlem önerileri incelenmiş ve karayolu gürültüsünün yayılım alanı dikkate alınarak, önlem uygulama alanının genişletilmesi ile kapsayıcı bir çözüm önerisi getirilmesi amaçlanmıştır.

Kaynakta ve alıcıda gürültü kontrolünün sağlanması kullanıcı iradesine ve teknik yapılanmaya bağlı olduğundan, kişisel tercihler ile ilişkilidir ve her zaman mümkün olmamaktadır. Kaynak-alıcı arasında yapılabilecek uygulamalardan, gürültü bariyerleri; işletmeciler tarafından mevcut ihtiyaca yönelik uygulanması ve bu şekilde geniş bir uygulama alanına sahip olmasıyla avantajlı bir gürültü kontrol yöntemi olarak tespit edilmiştir.

Gürültü bariyerleri; yapısal malzemeler, toprak dolgulu yüzeyler ya da bitkisel materyaller kullanılarak uygulanabilmektedir. Kent içi alanlarda yapılaşmanın artmasıyla olumsuzluklar gözlenen doğal yaşam ve dengenin korunabilmesi için; bitkisel materyalin çevresel koşulların iyileştirilmesini sağlayacak ekosistem işlevlerinden faydalanılarak öneriler getirilmesi sürdürülebilir çevre ölçütlerinin desteklenmesi ile yaşam kalitesinin yükseltilmesini sağlayacaktır. Ancak, bariyer uygulamalarında; yapı malzemeleri ile uygulanan bariyerlerin gürültü azaltma performanslarının yüksek olduğu ve bitkisel materyal ile uygulanan bariyerlerin ise gürültü denetiminde etkin sonuç vermesi için uygulanacak alan derinliğinin yapı

elemanı kullanımına göre fazla olduğu bilinmektedir. Kent içi alanlarda gürültü kontrolünde bitkisel bariyer uygulamaları için geniş alanlar bulunmaması nedeni ile bitkilerin işlevsel özelliklerinden, yapı elemanlarının ise kütle ağırlığından faydalanılarak gürültüye karşı önlem tasarımı yapılması önerilmiş; yapı elemanı ve bitkisel materyalin birlikte çalışma prensiplerini içeren entegre uygulamalar olan bio-bariyerler gürültü bariyeri uygulamalarında alternatif bir çözüm önerisi olarak sunulmuştur.

Bio-bariyerler; bitkilendirmeyi tasarımlarının ayrılmaz bir parçası olarak içeren ve bitkileri kendi yapılarına dâhil etmek üzere tasarlanmış olan gürültü bariyerleridir. Bio-bariyerler; yapı malzemesi ve bitkisel materyal olmak üzere iki ana katman bileşenden oluşur. Bio-bariyer uygulamaları, yapısal gürültü bariyeri uygulamalarından farklı olarak; içerdiği canlı katman nedeniyle bu katmanın ihtiyacının karşılanması üzerine ilkesel olarak temel farklar içermektedir. Bio-bariyer tasarımlarında yapısal eleman ve bitkisel materyal katmanları ile ilgili kararlar; bitkisel materyalin ihtiyacının karşılanması ve yapısal elemanın yüzey dayanımının sağlanması için bir arada değerlendirilmelidir. Tez çalışması kapsamında; gürültü bariyeri tasarımı etkileyen parametreler bio-bariyer uygulamaları için irdelenmiş ve bio-bariyer uygulamaları ile gürültü kontrolünün sağlanmasında, yapısal eleman ve bitkisel materyal kompozisyonları için başvurulabilecek yöntemlerin belirlenebilmesi için bitkisel materyal – yapı malzemesi katmanları ve ilişkileri değerlendirilmiştir. Bio-bariyer uygulamalarında; yapısal eleman ve bitkisel materyal katmanlarının birlikte kurgulanmasına yönelik yapım sistemleri kullanılmaktadır.

Akademik çalışmalarda; bio-bariyer yapım sistemlerinin tamamının hiçbir kaynakta bütünsel olarak işlenmediği, bio-bariyer yapım sistemleri gruplandırmalarına ilişkin farklılıklar bulunduğu ve aynı tanımdaki bio-bariyer uygulamasının, farklı kaynaklarda farklı başlıklar dâhilinde ele alınmış olduğu tespit edilmiştir. Bio-bariyerlerle ilgili bilgi karışıklığının, bu sistemlerin sadece estetik amaçlı kullanılmasına neden olduğu ve uygulamaların yaygınlaşmasını engellediği belirlenmiştir. Bio-bariyer uygulama alanlarının genişletilmesi için öncelikle yapım sistemlerinin sınıflandırılmasıyla ilgili karışıklığın giderilmesi gerekmektedir. Tez çalışması kapsamında; akademik kaynaklarda verilen bio-bariyer yapım sistemi başlıklarının tanımları karşılaştırılarak ve referans kaynaklarda farklı tanımlanmış olan kapsamları değerlendirilerek; aynı tanımdaki uygulamaların ortak başlıklarda toplanmasıyla bio-

bariyer yapım sistemleri sistematik bir biçimde sınıflandırılmış ve sistemleri kapsamaları geliştirilmiştir. Bio-bariyer yapım sistemleri ile ilgili akademik çalışmalarda belirtilen tanımlamalar ve literatür derlemesi sonucu oluşturulan bio-bariyer sınıflandırması Tablo 5.1 üzerinde ifade edilmiştir. Bu derleme tablosu; hiçbir akademik çalışmada bütünsel olarak ele alınmamış olan bio-bariyer yapım sistemlerinin tanım ve kapsamlarının değerlendirilmesi ve sınıflandırılmasıyla, gelecek çalışmalar için adım oluşturacak olması açısından önemlidir.

Tablo 5.1. Bio-bariyer yapım sistemlerinin sınıflandırılması

Kaynak	Bio-Bariyer Yapım Sistemleri					
Tez çalışması kapsamındaki sınıflandırma	Dikey Bio-Bariyerler	Oluklu Bio-Bariyerler	Çerçevesiz Bio-Bariyerler	Destekli Bio-Bariyerler	Yaşayan Bio-Bariyerler	Yığın Bio-Bariyerler
(Farnham & Beimborn, 1990)	Duvar Yüzeyinde Bitkilendirme	Dikim Oluklarında Bitkilendirme	-	-	Yaşayan Bariyerler	-
(Kotzen & English, 1999)	-	-	A-Çerçeve ve Dikey Çelikten Üretilmiş Bio-Bariyerler	Kutu Duvar Bio-Bariyerler	Söğüt Örgüsü Bio-Bariyerler	Yığın Bio-Bariyerler
(Watts & Morgan, 2005)	Sarmaşık Kaplı Bariyerler	-	-	-	Söğüt Örgüsü Bariyerler	-
(Thompson & Sorvig, 2008)	-	-	-	-	-	Yeşil Duvar Yapım Sistemleri
(Bendtsen, 2009)	Bitkilendirilmiş Bariyer	-	-	Desteklenmiş Toprak Dolgu	-	Desteklenmiş Toprak Duvar
(HOSANNA, 2009)	-	Bitkisel Tepe Profilleri	-	Toprak ile Bitkilendirme Sistemleri Kullanımı	-	-
(Wong & diğerleri, 2010)	Dikey Yeşil Sistemler	-	-	-	-	-
(GovHK, 2012)	Bitkilendirilmiş Duvar Paneli	-	-	-	-	-
(Yamamoto, 2015)	-	Tepe Profili İçinde Bitkilendirme	-	-	-	-
(Lacasta & diğerleri, 2016)	Modüler Dikey Yeşil Sistemler	-	-	-	-	-
(Thomazelli & diğerleri, 2016)	Modüler Sistem Dikey Bahçeler	-	-	-	-	-
(CEDR, 2017)	Dikey Yeşil Duvarlar	-	-	Desteklenmiş Toprak Dolgular	-	-

Araştırmalar sonucunda, bio-bariyer yapım sistemlerinin akademik çalışmalarla kısıtlı kalmadığı; üretici firmalar tarafından alternatif sistem önerileriyle geliştirilmiş olduğu belirlenmiştir. Bio-bariyer yapım sistemlerinin kapsamlı olarak tanımlanabilmesi için bazı üretici firmalardan ve web sitelerinden ürün bilgileri temin edilmiş; endüstriyel ürünlerin de araştırılmasıyla içerikler geliştirilmiştir. Akademik kaynaklardan ve üretici firmalardan sağlanan bilgilerin kapsamlarının karşılaştırılması Tablo 5.2 üzerinde belirtilmiştir. Firmalardan alınan ürün bilgileri incelendiğinde, akademik kaynakların tanımlamalarına ek olarak; modül şekilleri, montaj sistemleri ve katmanlaşma niteliğine bağlı olarak bariyer performansları hakkında bilgi sağlanmıştır.

Tablo 5.2. Bio-bariyer yapım sistemlerinin kapsamlarının geliştirilmesi

Bio-Bariyer Yapım Sistemleri	Referans Kaynak Kapsamları	
	Akademik Kaynak	Üretici Firma
Dikey Bio-Bariyerler	Konstrüksiyon sistemleri Modül şekilleri Prototip performansları Örnek uygulamalar	Konstrüksiyon sistemi boyutları Malzeme nitelikleri Modül şekilleri Yüzey katmanlaşma özellikleri Kütle ağırlıkları Sistem kalınlığı Sistem performansları
Oluklu Bio-Bariyerler	Örnek uygulamalar	-
Çerçevesiz Bio-Bariyerler	Konstrüksiyon sistemi yüzeyinde bitkilendirme ile Konstrüksiyon sistemleri	Konstrüksiyon sistemi üzerine asılı modüllerde bitkilendirme ile Konstrüksiyon sistemi boyutları Malzeme nitelikleri Yüzey katmanlaşma özellikleri Sistem kalınlığı Sistem performansları
Destekli Bio-Bariyerler	Konstrüksiyon yapısının toprak ile doldurulması ile Konstrüksiyon sistemleri Örnek uygulamalar	Toprak dolgulu konstrüksif blok modüllerin istiflenmesi ile Konstrüksiyon sistemi boyutları Malzeme nitelikleri Modül şekilleri Yüzey katmanlaşma özellikleri Sistem kalınlığı Sistem performansları

Yaşayan Bio-Bariyerler	Toprak dolgu üzerinde örülmüş söğüt dallarının gelişmesi ile Konstrüksiyon sistemi boyutları Malzeme nitelikleri Yüzey katmanlaşma özellikleri Sistem kalınlığı Örnek uygulamalar	Yutucu özellikteki panel yüzey üzerinde gelişen söğüt dalları ile Konstrüksiyon sistemi boyutları Malzeme nitelikleri Yüzey katmanlaşma özellikleri Sistem kalınlığı Sistem performansları
Yığın Bio-Bariyerler	Toprak dolgulu modül cepler içinde bitkilendirme yapılması ile Konstrüksiyon sistemleri Konstrüksiyon sistemi boyutları Yüzey katmanlaşma özellikleri Modül şekilleri	Toprak dolgulu torbaların üst üste istiflenmesi ile Konstrüksiyon sistemi boyutları Malzeme nitelikleri Modül şekilleri Yüzey katmanlaşma özellikleri Sistem kalınlığı Sistem performansları

Bio-bariyer yapım sistemlerinin kapsamlarının geliştirilmesiyle; gürültü kontrolünde bio-bariyer uygulamalarını tercih edilebilir kılmak amacıyla bariyer malzemelerinin etkinlikleri bir arada değerlendirilmiştir. Plastik, kompozit, geri dönüşümlü ve akustik malzemeler; endüstriyel üretim ile imal edildiğinden çok yönlü performans düzenlemelerine olanak tanıdıklarından ve toprak yığın bariyerler ise zeminde çok yer işgal ettiklerinden değerlendirme kapsamına alınmamıştır. Üretici firmalardan edinilen bio-bariyer kalınlıkları, kütle ağırlıkları ve bariyer performans değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo 5.3 üzerinde sunulmuştur. Yapısal bariyerlerin düşük kalınlıklarda bile yüksek performans gösterdiği ve bitkisel bariyerlerin tek başlarına yeterli sonuç vermesi için zeminde çok fazla alana ihtiyaç duyduğu öncelikli olarak dikkat çekmektedir. Bio-bariyerlerin, yapısal ve bitkisel bariyerlere kıyasla ortalama bir performans değeri sunuyor olmasıyla birlikte; zeminde bariyer konumlanmasa için ayrılmış olan alan ve ihtiyaç duyulan bariyer performansı değerlerinin birbirlerini karşılaması halinde tercih edilmeleri, gürültü kontrolünü sağlanırken bitkilerin işlevsel özelliklerinden faydalanılarak yaşam kalitesinin yükseltilmesinde de etkili olacaktır. Örneğin 22 dB gürültü azalmasına ihtiyaç duyulan bir alanda, 34 dB performans gösteren 200 mm kalınlığında bir beton blok bariyerdense, 22,7 dB performans gösteren 190 mm kalınlığındaki bir modüler sistem bio-bariyer tercih edilmesi avantajlı olacaktır.

Tablo 5.3. Bio-bariyer performanslarının diğer bariyer malzemeleri ile karşılaştırılması

Bariyer Türü		Katmanlaşma Bilgisi	Kalınlık (mm)	Kütle Ağırlığı (kg/m ²)	İletim Kaybı (dB)	Ses Yutma (dB)
Yapısal Bariyer	Ahşap Bariyer	Ahşap	25	18	21	-
		Kontrplak	25	16.1	23	-
	Metal Bariyer	Çelik	1.27	9.8	25	-
		Aluminyum	1.59	4.4	23	-
	Beton Bariyer	Yoğun Beton	100	244	40	-
		Hafif Beton	100	161	36	-
	Blok Bariyer	Beton Blok	200	151	34	-
		Tuğla	150	288	40	-
	Plastik Bariyerler	Polikarbonat	8 – 12	10 – 14	30 – 33	-
		Akrilik	15	18	32	-
	Cam Bariyer	Cam	4	10	24,5	-
Bitkisel Bariyer		Bitki örtüsü	25000	-	40	-
			6000	-	10	-
			1500-3000	-	5-10	-
Bio-Bariyer	Dikey Bio-Bariyer	Kafes Panel Sistem	275-284	50	28	9
			50	18	30	8
		Modüler Sistem	190	-	22,7	-
			90	90		7
	Oluklu Bio-Bariyer	Bitkilendirilmiş Tepe Profili	-	-	6-13	-
	Çerçevesiz Bio-Bariyer		900	-	40	-
	Destekli Bio-Bariyer		450	600	26	-
	Yaşayan Bio-Bariyer		240	-	32	5
	Yığın Bio-Bariyer		1400	-	40-60	-

Tez çalışması, bio-bariyer uygulamaları ile ilgili sınıflandırma karışıklığının giderilmesi ve bio-bariyer uygulamalarında kullanılabilecek yapım sistemlerinin kapsamlarının geliştirilmiş olması açısından özelleşmektedir. Gelecek çalışmalarda, bu çalışmada temel olarak gruplanmış bio-bariyer yapım sistemleri; konstrüksiyon önerileri, köklenme yüzeyleri, sulama sistemleri, bitkilendirme yöntemleri gibi katmanlar üzerinden geliştirilebilir. Sistem çözümlerine yönelik maliyet analizleri yapılabilir. Yeni ürün teknolojileri doğrultusunda performans verileri eklenebilir, güncellenebilir.

KAYNAKÇA

- Abbas, A. R., Liang, R.Y., Frankhouser, A., Cardina, J. and Cubick, K.L. (2011). *Green noise wall construction and evaluation*. Ohio: Department of Transportation Office of Research and Development.
- Akay, A. (2015). *Kent içi alanlarda trafik gürültüsünün bitki kullanımı ile kontrolü: Konya-İstanbul Çevreyolu örneği*. Yüksek Lisans Tezi. Konya: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Anderson, L., Mulligan, B. and Goodman, L. (1984). Effects of vegetation on human response to sound. *Journal of Arboriculture* , 10 (2), 45-49.
- Asdrubali, F. (2007). Green and sustainable materials for noise control in buildings. *19th International Congress on Acoustics*. Madrid.
- Asdrubali, F. (2006). Survey on the acoustical properties of new sustainable materials for noise control. *EuroNoise*, Tampere.
- Aygençel, M. (2011). *Dikey yeşil sistemler*. Yüksek Lisans Tezi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aznarez, J. J. (2007). A methodology for optimum design of Y-Shape noise barriers. *19th International Congress on Acoustics*. Madrid.
- Barry, T. and Reagan, J. (1978). *FHWA highway noise prediction model*. Washington: Federal Highway Administration Offices of Research and Development.
- Bendtsen, H. (2009). *Noise barrier design: Danish and some European examples*. Denmark: Danish Road Institute Road Directorate.
- Bies, D. A. and Hansen, C. H. (2003). *Engineering noise control theory and practice*. New York: Spon Press.
- Bjelić, M., Vukićević, M., Petrović, A. and Pljakić, M. (2012). Analysis of materials used for production of noise protection barriers. *Noise and Vibration, 23rd National & 4th International Conference*, 101-103
- Bozkurt, T. S. (2010). *Endüstriyel gürültü haritalarının hazırlanmasında İstanbul'da bulunan DES Sanayi Sitesi ve yakın çevresi örneği*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- BS EN 1793-1. (2012). *The British Standards Institution*.
- BS EN 1793-2. (2012). *The British Standards Institution*.

- Candemir, N. (2008). *D100 (E5) Karayolu'nun gürültü açısından değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- CEDR. (2017). *State of the art in managing road traffic noise: noise barriers*. Brussels, Belgium: Conference of European Directors of Roads.
- Çalış, M. (2007). *Karayolu gürültüsü ve gürültü perdelerinin ekonomik analizi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ÇGDYY. (04.06.2010). Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği. *Resmî Gazete*. Çevre ve Orman Bakanlığı.
- ÇGEP. (2009-2020). *Çevresel gürültü eylem planı*. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı.
- ÇGÖDK. (2011). *Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Kılavuzu*. Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı.
- Dai, B., He, Y., Mu, F., Xu, N. and Wu, Z. (2014). Development of a traffic noise prediction model on inland waterway of China using the FHWA. *Science of the Total Environment* , 482 (1), 480–485.
- Demirkale, S. Y., ve Aşçıgil, M. (2007). Sağlıklı kentlerle ve yapılarla ilgili Türkiye'nin gürültü politikası. *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir: TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 267-285
- Ders Notları. (2016). Gürültü denetimi 1. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı.
- Dobson, M. and Ryan, J. (2000). *Trees and shrubs for noise control*. Trees in Focus Arboricultural Advisory and Information Service.
- Dunnett, N., Swanwick, C. and Woolley, H. (2002). *Improving urban parks, play areas and green spaces*. London: University of Sheffield.
- Dzhambov, A. M. and Dimitrova, D. D. (2015). Green spaces and environmental noise perception. *Urban Forestry & Urban Greening* , 14 (4), 1000–1008.
- EAA. (2014). *Noise in Europe*. Copenhagen: European Environment Agency.
- EAA. (2018). *Population exposure to environmental noise*. European Environment Agency.
- Ekici, I. and Bougdah, H. (2003). A review of research on environmental noise barriers. *Building Acoustic* , 10 (4), 289-323.
- Ekren, E. (2016). *Dikey bahçe tasarım ve uygulama ilkelerinin Dünya ve Türkiye örnekleri doğrultusunda incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş: Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- END. (2002). *Environmental Noise Directive*. The European Parliament and The Council of The European Union.
- EPD. (2003). *Guidelines on design of noise barriers*. Government of Hong Kong Environmental Protection Department.
- Erdoğan, E. ve Yazgan, M. (2007). Kentlerde trafik gürültüsü sorununu azaltmada peyzaj mimarlığı çalışmaları: Ankara örneği. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4 (2), 201-210.
- Erdoğan, E. (2014). *Düşey yeşil sistemlerin enerji etkinliklerinin değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ertekin, M. ve Çorbacı, Ö. L. (2010). Karayollarında peyzaj planlama ve bitkilendirme çalışmaları. *E-Journal of New World Sciences Academy*, 5 (2), 105-125.
- Fang, C. and Ling, D. (2003). Investigation of the noise reduction provided by tree belts. *Landscape and Urban Planning*, 63 (4), 187-195.
- Farnham, J. and Beimborn, E. (1990). *Noise barrier design guidelines*. Washington: University of Michigan.
- FHWA. (2000). *Highway noise barrier design handbook*. Cambridge: U.S. Department of Transportation Research and Special Programs Administration.
- Fujiwara, K., Kim, C. and Ohkubo, T. (1998). Excess attenuation by reactive obstacles at a noise barrier edge. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 103 (5), 95-96.
- Garg, N., Sharma O., Mohanan, V. and Maji, S. (2012). Passive noise control measures for traffic noise abatement in Delhi, India. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 71 (3), 226-234.
- GovHK. (2012). *Guidelines on Greening of Noise Barriers*. Tamar, Hong Kong: The Government of the Hong Kong Special Administrative Region.
- Güçlü, K. (1993). Karayollarında yeşil dokunun artırılması. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24 (1), 218-222.
- Halim, H., Abdullah, R., Ali, A. and Nor, M. (2015). Effectiveness of existing noise barriers: Comparison between vegetation, concrete hollow block and panel concrete. *Procedia Environmental Sciences*, 30, 217-221.
- Hendriks, R. (2013). *Technical noise supplement to the Caltrans traffic noise analysis protocol*. California: Department of Transportation.

- Hong, J. Y. and Jeon, J. Y. (2014). The effects of audio–visual factors on perceptions of environmental noise barrier performance. *Landscape and Urban Planning* , 125, 28–37.
- Horoshenkov, K. V. and Khan, A. (2011). Acoustic properties of green walls with and without vegetation. *The Journal of the Acoustical Society of America* , 130 (4), 2317.
- HOSANNA. (2009). *Novel solutions for quieter and greener cities*. Chalmers University of Technology.
- Huddart, L. (1990). *The use of vegetation for traffic noise screening*. Berkshire: Transport and Road Research Laboratory.
- Ilgar, R. (2012). Çanakkale şehir içi trafiğindeki araç kaynaklı gürültü kirliliğine yönelik ön çalışma. *Journal of World of Turks* , 4 (1), 253-267.
- IMAP. (2014). *Growing Green Guide: A guide to green roofs, walls and facades*. Inner Melbourne Action Plan.
- Joynt, J. L. and Kang, J. (2010). The influence of preconceptions on perceived sound reduction by environmental noise barriers. *Science of the Total Environment* , 408 (20), 4368–4375.
- Kalansuriya, C., Pannila, A. and Sonnadara, U. (2009). Effect of roadside vegetation on the reduction of traffic noise levels. *Proceedings of the Technical Sessions*. Sri Lanka: Institute of Physics. 1-6
- Karbalaie, S. S., Karimi, E., Naji, H. R., Ghasempouri, S.M., Hosseini, S.M. and Abdollahi, M. (2015). Investigation of the traffic noise attenuation provided by roadside green belts. *Fluctuation and Noise Letters* , 14 (4), 1550036.
- Klingner, R. E., Michael, T. and Vishniac, I. B. (2003). *Design guide for highway noise barriers*. Texas: The University of Texas at Austin.
- Koramaz, E. K. (2010). *Yaşam kalitesinin yükseltilmesinde yeşil alanların etkinliğinin ölçülmesi ve geliştirilmesine yönelik model önerisi*. Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kotzen, B. and English, C. (1999). *Environmental noise barriers: A guide to their acoustic and visual design*. New York: E&FN Span.
- Kurra, S. (2009). *Çevre Gürültüsü ve Yönetimi*. İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi Yayınları.
- Kurra, S. and Dal, L. (2012). Sound insulation design by using noise maps. *Building and Environment* , 49 (1), 231-303.

- Lacasta, A., Penaranda, A., Cantalapiedra, I.R., Auguet, C., Bures S. and Urrestarazu, M. (2016). Acoustic evaluation of modular greenery noise barriers. *Urban Forestry & Urban Greening* , 20 (1), 127-179.
- Li, H., Chau, C. and Tang, S. (2010). Can surrounding greenery reduce noise annoyance at home? *Science of the Total Environment* , 408 (20), 4376–4384.
- Long, M. (2014). *Architectural acoustic*. Oxford: Elsevier.
- Maleki, K. and Hosseini, S. M. (2011). Investigation of the effects of leaves, branches and canopies of trees on noise pollution reduction. *Annals of Environmental Science* , 5, 13-21.
- Margaritis, E. and Kang, J. (2016). Relationship between green space-related morphology and noise. *Ecological Indicators* , 72, 921–933.
- Mir, M. A. (2011). *Green façades and building structures*. Delft: Delft University of Technology Faculty of Civil Engineering.
- Muralikrishna, I. V. and Manickam, V. (2017). Science and engineering for industry. *Environmental management*. Elsevier. 399-429
- Murph, E. (2014). *Environmental noise pollution*. Elsevier.
- Ottel , M. (2011). *The green building envelope*. Delft: Delft University of Technology.
- Ow, L. F. and Ghosh, S. (2017). Urban cities and road traffic noise: Reduction through vegetation. *Applied Acoustics* , 120, 15–20.
-  rnek, M. A. (2011). *Dikey bahçe tasarımı sürecinde kullanılabilecek örnek tabanlı bir tasarım modeli  nerisi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özçevik, A. (2012). *'İşitsel peyzaj - soundscape' kavramı ile kentsel akustik konforun irdelenmesinde yeni bir yaklaşım*. Doktora Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özer, S. (1998). *Peyzaj mimarlığı açısından erzurum kenti gürültü kirliliğinin değ rlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Paşaoğ lu, A. (2013). *Eyüp Hasdal-Kemberburgaz Yolu Göktürk Mevkii'nde otoyoldan kaynaklanan çevresel gürültünün değ rlendirilmesi, gürültü haritasının hazırlanması ve gürültü perdesi modeli*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Priego, C. and Canales, G. D. (2008). *Environmental, social and economic benefits of tree plantations for urban societies*. Cordova, Spain: IESA Working Paper Series.

- Reethof, G. (1973). Effect of plantings on radiation of highway noise. *Journal of the Air Pollution Control Association* , 23, 185-189.
- Renterghem, T. V. (2014). Guidelines for optimizing road traffic noise shielding by non-deep tree belts. *Ecological Engineering* , 69, 276–286.
- Renterghem, T. V. (2018). Towards explaining the positive effect of vegetation on the perception of environmental noise. *Urban Forestry & Urban Greening* , 40, 133-144.
- Sakieha, Y., Jaafari, S., Ahmadi, M. and Danekar, A. (2017). Green and calm: Modeling the relationships between noise pollution propagation and spatial patterns of urban structures and green covers. *Urban Forestry & Urban Greening* , 24, 195–211.
- Samuels, S. (2001). Recent developments in the design and performance of road traffic noise barriers. *New Zealand Acoustics* , 29 (2), 16-29.
- Sandhu, H. (2017). *Ecosystem functions and management: theory and practice*. Cham, Switzerland: Springer Nature.
- Shukla, A. K. (2011). An approach for design of noise barriers on flyovers in urban areas in India. *International Journal for Traffic and Transport Engineering* , 1 (3), 158 – 167.
- The Danish Road Institute. (2010). *Noise barrier design: Danish and some European examples*. California: Department of Transportation.
- Thomazelli, R., Caetano, F. and Bertoli, S. (2016). Acoustic properties of green walls: Absorption and insulation. *Proceedings of the 22nd International Congress on Acoustics*. Buenos Aires.
- Thompson, W. and Sorvig, K. (2008). *Sustainable Landscape Construction A Guide to Green Building Outdoors*. Washington: Island Press.
- Wagemans, J. (2016). *Modularity of living wall systems*. Delft: Delft University of Technology.
- Watson, D. (2006). *Evaluation of benefits and opportunities for innovative noise barrier designs*. Arizona: Arizona Department of Transportation.
- Watts, G. and Morgan, P. (2005). *Noise barrier review*. Greater London Authority and Transport for London: TRL / The Future of Transport.
- WHO. (2018). *Environmental noise guidelines for the European Region*. Copenhagen: World Health Organization.

- Wong, N. H., Tan, A. Y. K., Tan, P. Y., Chiang, K. and Wong, N. C. (2010). Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment* , 45 (2), 411–420.
- Yamamoto, K. (2015). Japanese experience to reduce road traffic noise by barriers with noise reducing devices. *EuroNoise*. Maastricht. 33-38
- Yener, H. M. (2017). *Ulaşımından kaynaklı gürültü rahatsızlığı: İzmir örneği*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yerli, Ö. (2012). *Kentsel alan kullanım kaynaklı gürültünün Düzce kenti örneği üzerinde irdelenmesi*. Doktora Tezi. Düzce: Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, H. ve Özer, S. (1997). Gürültü kirliliğinin peyzaj planlama yönünden değerlendirilmesi ve çözüm önerileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* , 28 (3), 515-531.
- Yönetmelik. (30.12.2006). *Açık alanlarda kullanılan teçhizat tarafından oluşturulan çevredeki gürültü emisyonu ile ilgili yönetmelik*. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı.
- AcoustiBlok. *Sound elimination*. <https://www.acoustiblok.com> (Erişim tarihi: 12.01.2019)
- Acoustical Solutions. *Sound solutions*. <https://acousticalsolutions.com> (Erişim tarihi: 12.01.2019)
- Acoustical Surfaces. *Sound proofing and acoustics and noise control*. <https://www.acousticalsurfaces.com> (Erişim tarihi: 12.01.2019)
- Cheviot Trees. *Acoustic green barriers*. <http://www.etsluk.com/index.html> (Erişim tarihi: 11.02.2019)
- Deckon. *Commercial ceilings*. <http://www.deckon.com.tr> (Erişim tarihi: 12.01.2019)
- Deltalok. *Retaining walls*. <http://www.igmbag.com> (Erişim tarihi: 10.04.2019)
- Dura Green. *Extensive facade systems*. <http://www.duragreen.nl/en/duragreen-extensive-system> (Erişim tarihi: 11.02.2019)
- E Noise Control. *Sound blankets, acoustic panels, sound curtains*. <http://www.enoisecontrol.com> (Erişim tarihi: 12.01.2019)
- EngineeringToolBox. *İnsan kulağı tarafından algılanan ses basıncı*. <http://www.engineeringtoolbox.com> (Erişim tarihi: 07.02.2019)
- Gramm. *Environmental and security barrier specialist*. <https://www.grammbarriers.com> (Erişim tarihi: 11.02.2019)

- Helix Plant Systems. *Green instant tools for urban area*. <http://plant-systems.com> (Erişim tarihi: 11.02.2019)
- Kohlhauer. *Noise barrier systems*. <https://www.kohlhauer.com/en/products/noise-barrier-kohlhauer-planta> (Erişim tarihi: 11.02.2019)
- Levy, T., & Cohen, S. (2009). *Mapping of vehicular and railroad noise in Tel Aviv*. <https://designingwithsound.wordpress.com/2009/11/17/measurement2-tal-levy-shimrit-cohen> (Erişim tarihi: 08.01.2019)
- Modular Walls. *Modular wall and fence solutions*. <https://www.modularwalls.com.au> (Erişim tarihi: 12.01.2019)
- Natura Wall. *The natural noise protection systems*. <https://www.naturawall.com> (Erişim tarihi: 11.02.2019)
- PileByg. *Sound barriers and design*. <http://www.pilebyg.dk> (Erişim tarihi: 11.02.2019)
- Procter. *Fencing systems*. <http://www.proctercontracts.co.uk> (Erişim tarihi: 12.01.2019)
- Pyroteknc. *Soundproofing solutions*. <http://www.pyroteknc.com> (Erişim tarihi: 12.01.2019)
- Slim Wall. *Next generation fencing*. <http://www.slimwall.com.au> (Erişim tarihi: 12.01.2019)
- Styronit. *Natural insulation plaster*. <http://www.styronit.com.tr/akustik-sty-325> (Erişim tarihi: 12.01.2019)
- Vertiss. *Ecodesign green wall*. <http://www.vertiss.net/en/products/vertiss-plus/> (Erişim tarihi: 11.02.2019)
- VSS. *Vegetated sound structures*. <http://www.vss-global.com> (Erişim tarihi: 10.04.2019)
- Winab. *Quiet solutions*. <http://www.quietsolutions.se> (Erişim tarihi: 12.01.2019)

EKLER

Ek 1 Bazı Dış Mekan Kullanımlı Kompozit Malzemelerin Performans Değerleri

Ek 2 Bazı Dış Mekan Kullanımlı Geri Dönüşümlü Malzemelerin Performans Değerleri

Ek 3 Bazı Dış Mekan Kullanımlı Akustik Malzemelerin Performans Değerleri

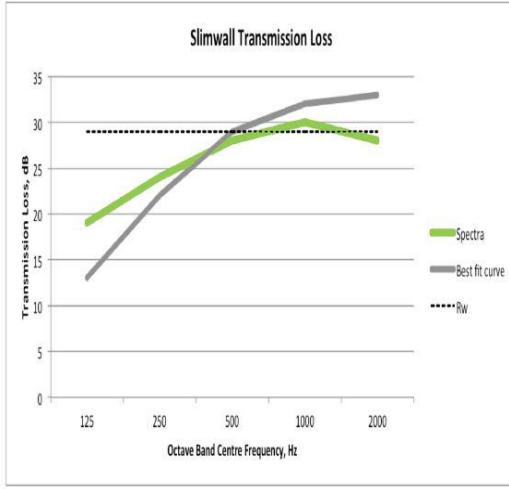
Ek 4 Bazı Bio-Bariyer Ürünlerinin Performans Değerleri



Ek 1 Bazı Dış Mekan Kullanımlı Kompozit Malzemelerin Performans Değerleri
Farklı firmalardan alınan ürün bilgileri derlenmiştir.

MARKA	ÜRÜN	ÖZELLİKLER
(Slim Wall)	SlimWall	Kompozit panel

Octave band transmission loss values and 29 dB Rw curve



(Acoustical Solutions)	Sound Blanked	Vinil kaplı polyester kompozit örtü
------------------------	---------------	-------------------------------------



SOUND ABSORPTION (ASTM C 423)							
Thickness	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	NRC
1"	0.18	0.68	0.74	0.72	0.42	0.29	0.65
2"	0.45	0.96	0.87	0.66	0.47	0.28	0.75
4"	0.67	1.05	0.97	0.84	0.86	0.52	0.95

SOUND TRANSMISSION LOSS (ASTM E90 & E413)							
Thickness	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	STC
1"	15	17	28	40	45	52	29
2"	14	20	32	41	42	41	33
4"	16	21	30	41	52	56	34

(E Noise Control)	Absorber Composite	Vinil kaplı polyester kompozit örtü
-------------------	--------------------	-------------------------------------



Sound Transmission Loss

	OCTAVE BAND FREQUENCIES (Hz)						
Product	125	250	500	1000	2000	4000	STC
UNC-XT-1	15	17	28	40	45	52	29

ASTM E-90 & E 413

Sound Absorption Performance

	OCTAVE BAND FREQUENCIES (Hz)						
Product	125	250	500	1000	2000	4000	NRC
UNC-XT-1	.18	.68	.74	.72	.42	.29	.65

(Procter)	Pro-acoustic	Cam takviyeli polimer panel
-----------	--------------	-----------------------------



Reflective

DLR rating 30 dB

Category: B3

Absorptive

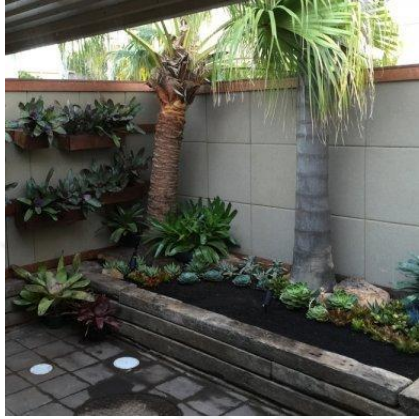
DLA rating 8 dB

Category: A3

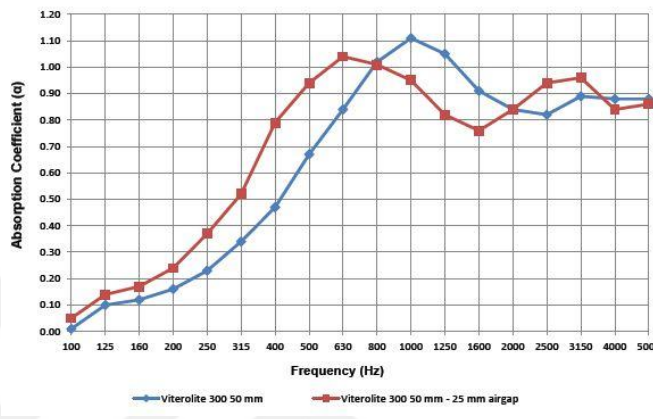
Ek 2 Bazı Dış Mekan Kullanımlı Geri Dönüşümlü Malzemelerin Performans Değerleri

Farklı firmalardan alınan ürün bilgileri derlenmiştir.

MARKA	ÜRÜN	ÖZELLİKLER
(Pyroteknc)	Viterolite	Sürdürülebilir, lif içermeyen, ses yutucu karo



Viterolite 300



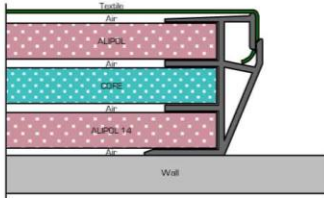
Frequency (Hz)	Viterolite 300 50 mm (α)	Viterolite 300 50 mm - 25 mm airgap (α)
100	0.05	0.05
125	0.08	0.10
160	0.10	0.15
200	0.15	0.20
250	0.20	0.30
315	0.30	0.40
400	0.40	0.60
500	0.50	0.80
630	0.60	0.90
800	0.70	1.00
1000	0.80	0.95
1250	0.90	0.85
1600	0.85	0.75
2000	0.80	0.85
2500	0.85	0.90
3150	0.80	0.95
4000	0.85	0.85
5000	0.85	0.85

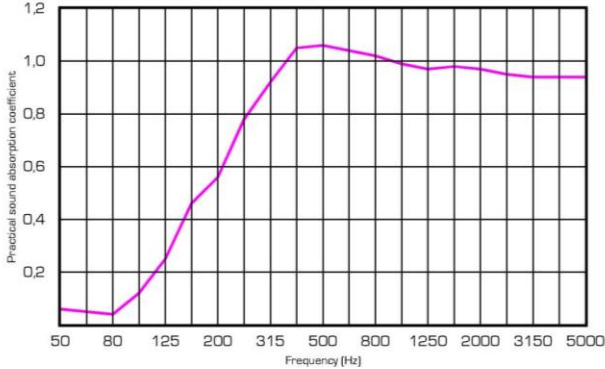
(Winab)	QS Solid	%65 geri dönüşümlü pet şişe, polyester elyaf blok
---------	----------	---

Absorption panel "QS - 3"

Sound absorption class A

Sound absorption coefficient $\alpha_w = 1,0$





Frequency (Hz)	Predicted sound absorption coefficient
50	0.10
80	0.10
125	0.20
200	0.50
315	0.80
500	1.00
800	0.95
1250	0.90
2000	0.95
3150	0.90
5000	0.90

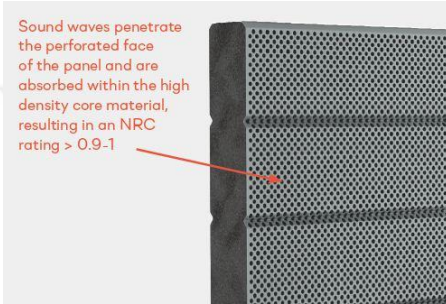


Ek 3 Bazı Dış Mekan Kullanımlı Akustik Malzemelerin Performans Değerleri

Farklı firmalardan alınan ürün bilgileri derlenmiştir.

MARKA	ÜRÜN	ÖZELLİKLER
(Modular Walls)	AcoustiSorb	Aluminyum ses yutucu panel

Sound waves penetrate the perforated face of the panel and are absorbed within the high density core material, resulting in an NRC rating > 0.9-1

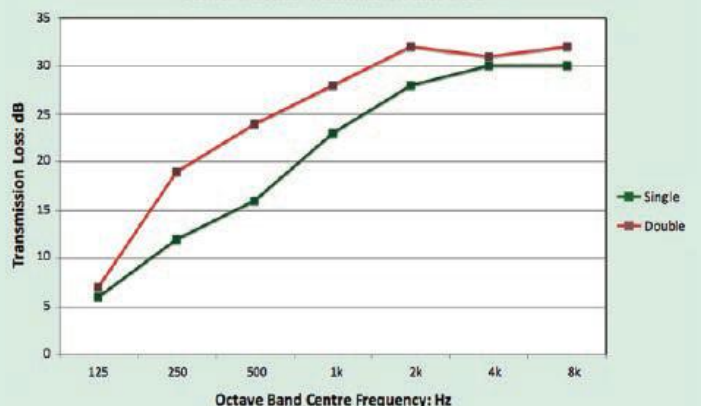


	AcoustiSorb75
Outerskin	Aluminium / painted steel (off white)
Panel core	Sound absorbing
Available lengths (mm)	2400 - 4000
Available heights (mm)	600
Thickness (mm)	75
Density (kg/m²)	14.32
NRC (frequencies hz)	125 0.20 250 0.60 500 1.00 1000 1.00 2000 1.00 4000 1.00
	NRC 0.90

(Acoustical Surfaces)	Echo	Polyester filament iplikli dokuma
-----------------------	------	-----------------------------------



Barrier Material Transmission Loss Data

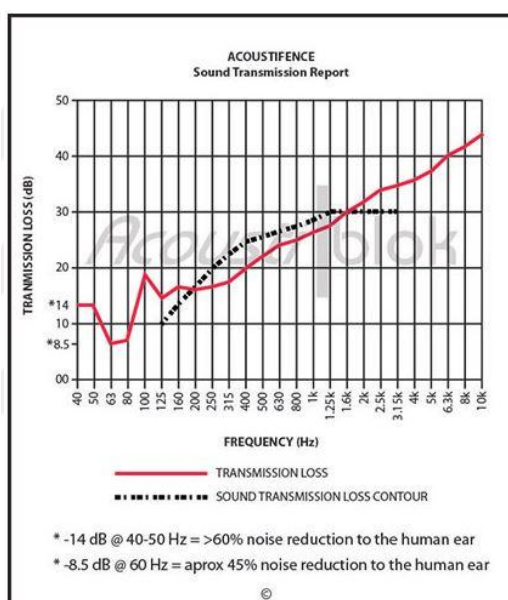
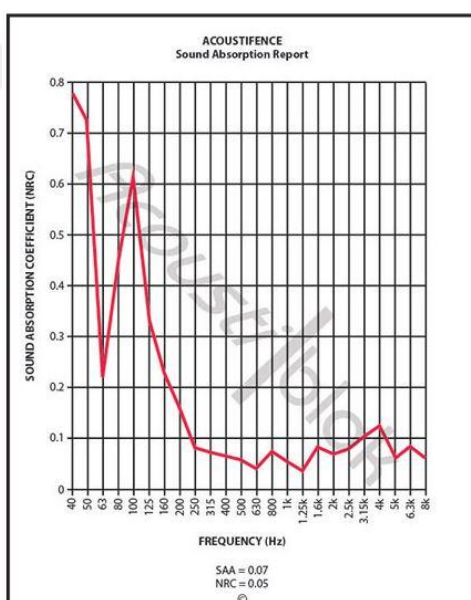


Octave Band Centre Frequency: Hz	Single (dB)	Double (dB)
125	6	7
250	12	19
500	16	24
1k	23	28
2k	28	32
4k	30	31
8k	30	32

Echo Barrier Transmission Loss Field Data							
	125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	8KHz
Single Layer	6	12	16	23	28	30	30
Double Layer	7	19	24	28	32	31	32

(AcoustiBlok)

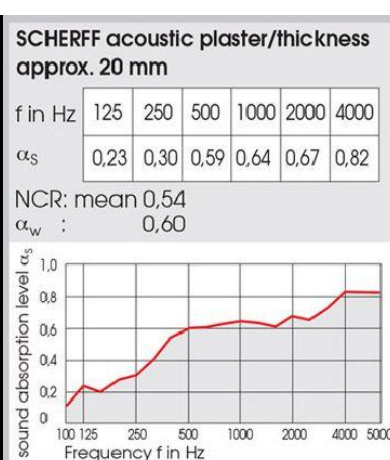
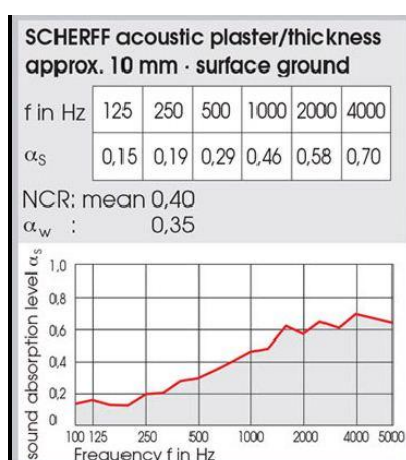
AcoustiFence



(Deckon)

Scherff

Taş, mineral ve hidrolik bağlayıcı içerikli akustik sıva



(Styronit)	Akustik STY	Perlit, pomza esaslı, doğal organik, inorganik lif ve bağlayıcı içerikli akustik sıva
		
Malzeme yapısı	:	Perlit, pomza esaslı, doğal organik, inorganik lifler ve bağlayıcı içerir.
Renk	:	Bej Renk
Uygulama Kalınlığı	:	2,0 – 5,0 cm
Tüketim	:	3,0 Kg/m ² (1 cm kalınlık, düz yüzeylerde)
Uygulama Sıcaklığı	:	Uygulama zemin sıcaklığı 5°C ile 35°C arasında olmalıdır.
İşlenebilme Süresi	:	8 saat (kullanıma hazırladıktan sonra, ortam sıcaklığına göre değişiklik gösterebilir.)
Ambalaj	:	10,5 / 0,5 Kg Kraft Torba
Raf Ömrü	:	Ürün, açılmamış orjinal ambalajında, kuru ve korunaklı yerlerde depolanmalıdır.Ürün kalitesinin zarar görmemesi için zeminle temas etmemesi gerekmektedir.Soğuktan, dondan, güneş ışığından korunmalıdır.En fazla 12 sıra olucak şekilde istiflenmelidir.Rutubet topak oluşumuna ve ürün kalitesinde bozulmaya sebep olabilir.Burada belirtilen şartların sağlanması durumunda raf ömrü 6 aydır.
Kuru Yoğunluk	:	330±25 kg/m ³ TS EN 1015-10
Yangın Dayanımı	:	A TS EN 13501-1
Ses Yalıtımı	:	49-68 dB EN-ISO 717-1

Ek 4 Bazı Bio-Bariyer Ürünlerinin Performans Değerleri

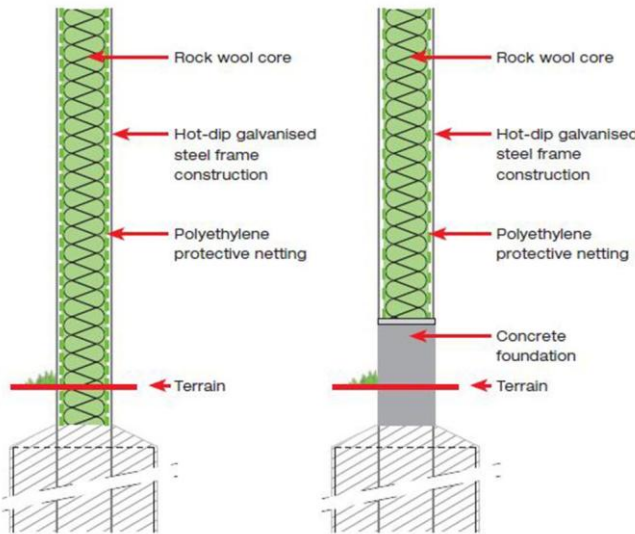
Farklı firmalardan alınan ürün bilgileri derlenmiştir.

Bariyer performans sınıflarının dB cinsinden karşılıkları (BS EN 1793-1, 2012), (BS EN 1793-2, 2012) standartlarından sağlanmıştır.

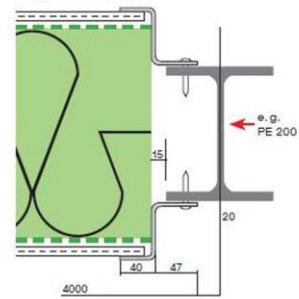
Birim tanımları için Bkz. SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bio-Bariyer Türü	Ürün Nitelikleri					
	Firma Bilgisi	Ürün Bilgisi	Taşıyıcı Sistem Özellikleri	Yüzey Özellikleri	Bariyer Performansı	
					Yutma	Azaltma
Dikey Bio-Bariyer Kafes Panel Sistem	(Kohlhauer)	Planta Classic 200	Maksimum 6 m bariyer yüksekliği Standart 4 m aks aralığı HEA 200 çelik kolon	Taş yünü yutucu panel üzeri polietilen koruyucu ağ ve galvanize kafes çelik çerçeve Standart 1000-1200-1500-2000-2200 mm panel yüksekliği Standart 3870 mm panel genişliği Standart 275-284 mm panel kalınlığı 50 kg/m ² kütle ağırlığı	9 dB	28 dB
Konstrüksiyon üzerinde turmanabilen bitki türleri						

Installation without foundation Installation with foundation



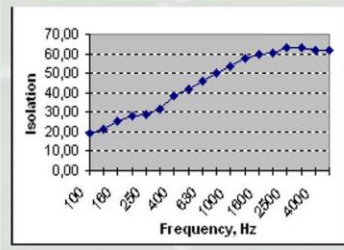
Detailed structure – Classic 200



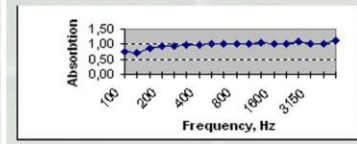
Type	Length x height	Wall thickness
Classic 200	3870 x 1000 mm*	276 mm
Absorption: 9 dB	3870 x 1200 mm*	284 mm
Insulation: 28 dB	3870 x 1500 mm*	
	3870 x 2000 mm*	
	3870 x 2200 mm*	

Dikey Bio-Bariyer Kafes Panel Sistem				Mineral yün yutucu panel üzeri galvanize kafes çelik çerçeve (240x240mm ya da 200x200mm boşluklu, 6 ya da 8mm) Maksimum 2000 mm panel yüksekliği, 4000 mm genişliği, 230 mm kalınlığı 45 kg/m ² kütle ağırlığı	Simf: A4 (12-15 dB)	Simf: B3 (25-34 dB) 34 dB	Konstrüksiyon üzerinde turmanabilen bitki türleri
---	--	--	--	---	---------------------	------------------------------	---

MAXIMUM ACHIEVED ISOLATION VALUE*



MAXIMUM ACHIEVED ABSORPTION VALUE*



SPECIFICATION SHEET OF THE NOISEBARRIER:

TECHNICAL DATA:	
Material	: Hot dip galvanized steel+mineral wool
Mesh	: 200 x 400 or 200 x 200
Wire thickness	: 6 or 8 mm
Element thickness	: maximum 230 mm
Element height	: maximum 2,000 mm
Element Length	: maximum 4,0 m
Weight (kg/m ²)	: maximum 45 kg/M2.
Windload	: 1,5 kN/m2

GRAMM BARRIERS GRAMM GREEN BARRIER – Technical specifications

- Noise Insulation, group B3 according to DIN EN 1792-2
- Sound absorption, group A4 according to DIN 1793-1
- Weight: 35kg/m2 element
- Sound reduction of 34dB
- Building width 122 mm

Dikey Bio-Bariyer Modüller Sistem				Polipropilen bitkilendirme modülü içinde özel karışımli toprak dolgu Mevcut duvara metal çerçeve destekler ile montaj	Standart 760 mm modül yüksekliği Standart 590 mm modül genişliği Standart 190 mm modül kalınlığı	-	DLr: 22.7 dB	Bitkilendirme cepleri (115x70 mm) içinde yetişebilen çalı türleri
--	--	--	--	--	--	---	--------------	---

16 POTTED PLANTS

Dimension of a plant cell: 115 mm x 70 mm

- > The angle of inclination of the planting cells respects phototropism and geotropism (growth in a direction determined by gravity). Plants are therefore subject to less stress when acclimatizing and in the long term.
- > The ergonomic design of the planting cell's makes planting and plant replacement simple.

AN INGENIOUS SYSTEM

- > Designing the layout plan for any area is quick and easy.
- > Modules can easily be assembled, disassembled and reassembled.
- > Easy maintenance
- > Protects existing walls against UV rays and weather damage (please note that it does not act as a watertight seal).

Height: 760 mm*
Substrate volume: 32 l



MATERIAL HD-EPP (HIGH DENSITY EXPANDED POLYPROPYLENE)

- > The module insulates the growing medium and roots against extreme temperatures (hot and cold).
- > Thermal benefits (evapotranspiration of plants on the building shell).
- > Airborne sound barrier (DLr* in dB = 22.7).
- > Corrosion resistant modules.
- > Light, high-insulation EPP material. Robust.

Width: 590 mm* / Depth: 190 mm* (* module only.)

Dikey Bio-Bariyer Modüler Sistem	(Dura Green)	Extensive System	Yüksek yoğunluklu polietilen bitkilendirme modülü içinde özel karışumlu toprak dolgu Mevcut duvara paslanmaz çelik destekler ile montaj	Standart 600 mm modül yüksekliği Standart 600 mm modül genişliği Standart 90 mm modül kalınlığı 90 kg/m ² kütle ağırlığı	Sınıf: A2 (4-7 dB) 7 dB	-	Bitkilendirme cepleri (115x70 mm) içinde yetişebilen bitki türleri
Technical attributes mounting system System: U-section attached to load-bearing sub frame, supplied with mounting brackets for the purpose of mounting modules. Air gap between modules and load-bearing sub frame, about 15mm. U-section: 56 x 12 x 2 mm Mounting bracket: Stainless steel-bracket, 2 mm Mounting points: Centre to centre 600 mm, double screw-fixing. Waterproofness: If necessary, provide load-bearing sub frame with additional waterproofing. Technical attributes module Dimensions module: 600 x 600 x 90 mm (working dimensions) Weight: 90 kg/m² (water saturated weight) Noise reduction: 7 dB (research report Peutz A2137-1-RA) Material: HDPE plastic, fully recyclable Colour: Black							
Çerçevesiz Bio-Bariyer	(Natura Wall)	Version Kompakt	Galvanize çelik bitkilendirme sistemi içinde özel karışumlu toprak dolgu	Standart 1.20 ila 2.10 m gövde yüksekliği Standart 0.71 ila 0.90 m gövde kalınlığı	Yüksek Yutuculuk	DLr: 40 dB üzeri	Bitkilendirme cepleri yetişebilen bitki türleri
Standard version Sound dampening values (DLR): over 67 dB Sound absorption (DLA): highly absorbent Wall height: 1,50 / 1,75 / 2,00 / 2,25 / 2,50 / 2,75 / 3,00 m 3,25 / 3,50 / 3,75 / 4,00 / 4,25 / 4,50 m Base width: 0,92 / 0,98 / 1,03 / 1,08 / 1,13 / 1,19 / 1,29 m 1,35 / 1,41 / 1,47 / 1,53 / 1,57 / 1,66 m Version Kompakt Sound dampening values (DLR): over 40 dB Sound absorption (DLA): highly absorbent Wall height: 1,20 / 1,50 / 1,80 / 2,10 m Base width: 0,71 / 0,77 / 0,83 / 0,90 m							

Destekli Bio-Bariyer	(Helix Plant Systems)	Compacta	Çelik kafes sistem içinde özel karışımli toprak dolgu	Maksimum 4 m bariyer yüksekliği Standart 450 mm modül kalınlığı 600 kg/m² kütle ağırlığı	-	Sınıf: B3 (25-34 dB) R: 26 dB	Toprak dolgulu modüller içinde yetişebilen bitki türleri
-------------------------	-----------------------	----------	--	--	---	----------------------------------	---

Width	45 cm + vegetation on both sides						
Heights	2.0, 3.0 + 4.0 m						
Construction	Wire mesh construction filled with pre-cultivated plant mats (About 50% plant coverage at installation) + substrate						
Other Information	Meets the requirements of ZTV-LSW 06 as well as the policy DB 800.2001 referring to noise barriers for trains.						

Density:	about 600 kg/m²							
Noise insulation:	Single specification: 26 dB (corresponds to Group B3 according to DIN EN 1793-2)							
	Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000
	Noise insulation R (dB)	17	16	21	25	33	41	43

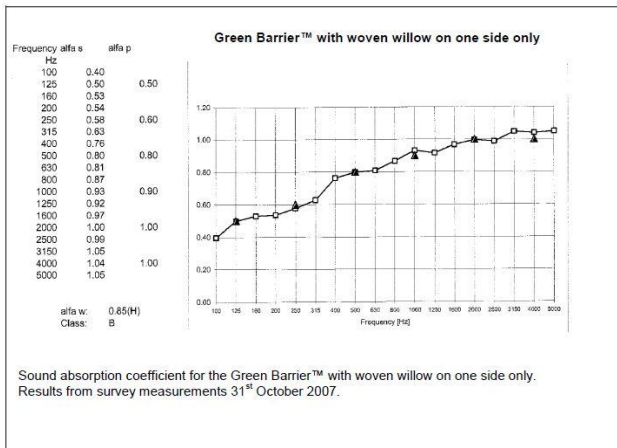
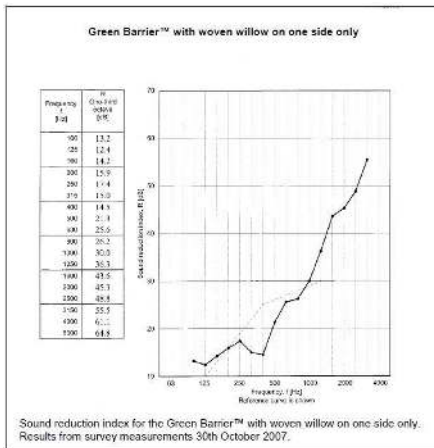
Destekli Bio-Bariyer	(Helix Plant Systems)	Elementa	Çelik profil çerçeve ile imal edilmiş galvanize çelik kafes sistem içinde özel karışımli toprak dolgu	Standart 400 mm modül yüksekliği Standart 400-800-1200 mm modül genişliği Standart 400 mm modül kalınlığı	-	DLR: 24.1 dB	Toprak dolgulu modüller içinde yetişebilen bitki türleri
-------------------------	-----------------------	----------	---	--	---	--------------	---

Structure	
Plant baskets	- Baskets are made of galvanised steel grating and have a support profile frame - Three basket sizes: 40 x 40 x 40/80/120 cm (HxWxL) - Lining, filling with special substrate and already planted with mature plants
Connections	Profile rails on the top and bottom as well as screw joints
Supply	Drip irrigation with custom control and fertilisation
Sound insulation	DLR = 24.1 dB (individual specification according to DIN EN 1793-2)

Yaşayan Bio-Bariyer	(PileByg)	The Green Element 240 mm Core	Ahşap çerçeve	Yaşayan söğüt dal örgüsü, taş yünü yutucu panel (240 mm) üzeri hasır çelik çerçeve ya da kuru söğüt dal örgüsü	Sınıf: A2 (4-7 dB) DLA: 5 dB	Sınıf: B3 (25-34 dB) DLR: 32 dB	Bariyer yüzeyini oluşturan yaşayan söğüt bitkisi
------------------------	-----------	-------------------------------	---------------	---	---------------------------------	------------------------------------	---

THE GREEN ELEMENT® 240 MM CORE	
Noise insulation	DLR = 32 dB (category B3)
Noise absorption	DLA = 5 dB (category 2)
Rw-value	37

Yaşayan Bio-Bariyer	(Cheviot Trees)	Acoustic 120 Economy	Aluminyum çerçeve içinde özel karışımlı toprak dolgu	Yaşayan söğüt dal örgüsü, taş yünü yutucu panel (120 mm) üzeri kuru söğüt dal örgüsü Standart 1500-2500 mm modül yüksekliği, 3960 mm genişliği, 122 mm kalınlığı 35 kg/m ² kütle ağırlığı	α : 0.85	R: 30 dB (1000 Hz)	Bariyer yüzeyini oluşturan yaşayan söğüt bitkisi
------------------------	-----------------	----------------------	---	--	-----------------	--------------------	---



Yığm Bio-Bariyer	(VSS)	Vegetated Sound Structures	Üst üste istiflenmiş prekast beton elemanların yatayda birbirine bağlanmasıyla oluşturulan ızgaralar içinde toprak dolgu	1.40 m duvar kalınlığı	-	40-60 dB	Toprak dolgulu modüller içinde yetişebilen bitki türleri
---------------------	-------	----------------------------	--	------------------------	---	----------	---

Acoustics and Noise Control

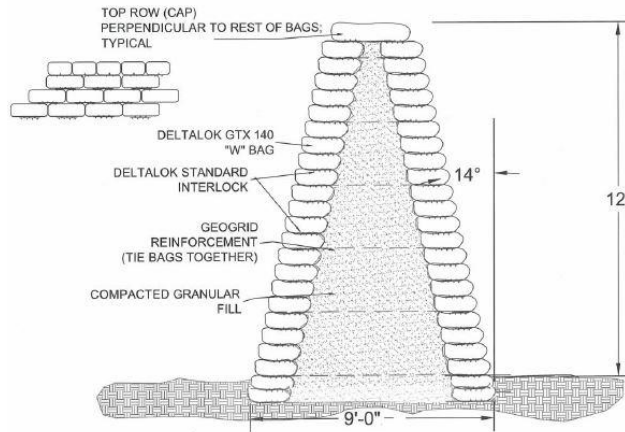
VSS® has better noise attenuation properties than conventional concrete noise barrier (CNB) walls

VSS® walls can be shorter than conventional concrete noise barriers (CNB) walls. Transmission losses (TL) of VSS® walls are much greater (40-60dB) than government standards (15-29dB).

DESIGN

Both faces of the wall shall consist of a grid of VSS® concrete members, with vertical faces. The face members shall be connected by transverse members parallel to the faces and located so the overall thickness is 4 feet 6 inches. The space between the concrete members shall be filled with well-compacted, nursery grade soil, or other as design engineer directs. The overall stability of the structure when assembled shall be such that this compaction may be carried out without displacing the members. A minimum embedment of 1 foot below final grade is required. These specifications do not purport to provide a basis for engineering analysis of the overall wall system. VSS® Standard Plans furnish some of the basic information used in analysis. A qualified engineer must provide information as required.

Yığm Bio-Bariyer	(Deltalok)	Retaining Walls	Üst üste istiflenmiş su ve hava geçirebilen ve yatayda polipropilen kilitleme tablaları ile birbirine sabitlenen modüler torbalar içinde toprak dolgu	Yüksekliğin %10u kadar zemin kotu altına gömülmesi gerekir	-	Prototip sonucuna göre; 9 dB(A)	Toprak dolgulu modüller içinde yetişebilen ya da tohumla filizlenebilen bitki türleri
---------------------	------------	-----------------	---	--	---	------------------------------------	---



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Ceren ÜNVER
02.05.1990/Eskişehir

İLETİŞİM BİLGİLERİ

E-mail crnnvr@gmail.com

YABANCI DİL BİLGİLERİ

İngilizce	İyi
İspanyolca	Orta
Almanca	Başlangıç

EĞİTİM BİLGİLERİ

2004 – 2008	Eskişehir Anadolu Lisesi	Ortaöğretim
2008 – 2012	Anadolu Üniversitesi	Lisans
2009 – 2010 Bahar Dönemi	Yıldız Teknik Üniversitesi	Lisans – Farabi Öğrenci Değişim Programı
2010 – 2011 Güz Dönemi	Universidad Europea de Madrid	Lisans – Erasmus Öğrenci Değişim Programı

STAJ DENEYİMİ

İstanbul_Bahadır İnşaat Mühendislik A.Ş.
Şantiye Stajı Ulus Savoy Konutları

İstanbul_Servotel Corporation
Büro Stajı Proje Danışmanlık Hizmetleri

İstanbul_Nevzat Sayın Mimarlık Hizmetleri
Büro Stajı Mimari Proje Hizmetleri

İŞ DENEYİMİ

2011 Ekim 2011 – 2012 Ocak	Eskişehir_Anadolu Üniversitesi Mimarlık Bölümü	Öğrenci İşçi
2012 Kasım – 2013 Mayıs	Eskişehir_Kaan Proje ve Mühendislik Hizmetleri	Mimar
2013 Temmuz – _	Eskişehir_Müpasan İnşaat A.Ş.	Mimar