

## ÖNSÖZ

Çalışmaları sırasında değerli eleştirileriyle bana yol gösteren tez danışmanı İ. T. Ü Mimarlık Fakültesi Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Sevtap Yılmaz Demirkale'ye şükranlarımı sunarım. Tezim hazırlanmasında değerli katkıları olan İ. T. Ü Mimarlık Fakültesi Araştırma Görevlisi Merve Akçadağ'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmaları sırasında bana destek olan tüm arkadaşlarıma ve hep yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Ağustos 2002

Ayşe Döşemeciler

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| KISALTMALAR                                                                                                                         | vii       |
| TABLO LİSTESİ                                                                                                                       | ix        |
| ŞEKİL LİSTESİ                                                                                                                       | xi        |
| SEMBOL LİSTESİ                                                                                                                      | xiii      |
| ÖZET                                                                                                                                | xv        |
| SUMMARY                                                                                                                             | xvii      |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                                                                                                     | <b>1</b>  |
| 1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı                                                                                                      | 1         |
| <b>2. KARAYOLU GÜRÜLTÜSÜNÜN İNCELENMESİ</b>                                                                                         | <b>3</b>  |
| 2.1. Giriş                                                                                                                          | 3         |
| 2.2. Nokta Kaynak Olarak Tek Bir Taşıtın İncelenmesi                                                                                | 3         |
| 2.3. Çizgi Kaynak Olarak Trafik Akışının İncelenmesi                                                                                | 6         |
| 2.3.1. Trafik parametresi                                                                                                           | 6         |
| 2.3.2. Yol parametresi                                                                                                              | 7         |
| 2.3.3. Çevresel parametreler                                                                                                        | 8         |
| 2.3.4. İklimparametresi                                                                                                             | 9         |
| <b>3. KARAYOLU GÜRÜLTÜSÜNÜN İNSAN ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ</b>                                                                           | <b>10</b> |
| 3.1. Giriş                                                                                                                          | 10        |
| 3.2. Gürültüye Bağlı İşitme Bozukluğu                                                                                               | 12        |
| 3.3. Konuşmanın Engellenmesi                                                                                                        | 14        |
| 3.4. Gürültünün Uyku Üzerindeki Etkileri                                                                                            | 16        |
| 3.5. Gürültünün Kardiyovasküler ve Fizyolojik Etkileri                                                                              | 18        |
| 3.6. Gürültünün Ruh Sağlığı Üzerindeki Etkileri                                                                                     | 20        |
| 3.7. Gürültünün İş Performansı Üzerindeki Etkileri                                                                                  | 21        |
| 3.8. Gürültünün Konut Alanlarındaki Genel Davranış ve Rahatsızlık Üzerindeki Etkisi                                                 | 22        |
| 3.9. Birleşik Gürültü Kaynaklarının Etkisi                                                                                          | 25        |
| 3.10. Gürültüye Karşı Hassas olan Toplum Grupları                                                                                   | 26        |
| <b>4. KARAYOLU GÜRÜLTÜSÜNÜN ULUSLARARASI AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ VE BUNUNLA İLGİLİ BİNA İÇİNDE VE DIŞINDA KULLANILAN KRİTERLER</b> | <b>27</b> |
| 4.1. Giriş                                                                                                                          | 27        |
| 4.2. Uluslararası Açıdan Gürültünün Değerlendirilmesi                                                                               | 28        |
| 4.2.1. Amerika Birleşik Devletleri'nde gürültü kontrolü                                                                             | 28        |
| 4.2.2. Avrupa ülkelerinde gürültü kontrolü                                                                                          | 29        |

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.3. Türkiye'de gürültü kontrolü                                       | 30        |
| <b>4.3. Bina Dışı ve İçİ Karayolu Gürültüsü Değerlendirme Kriterleri</b> | <b>31</b> |
| 4.3.1. Gürültüyle ilgili temel büyüklükler                               | 31        |
| 4.3.1.1. Ses basınç düzeyi                                               | 31        |
| 4.3.1.2. Frekans                                                         | 31        |
| 4.3.1.3. Frekans analizi                                                 | 32        |
| 4.3.1.4. A Öçümü ses basınç düzeyi                                       | 33        |
| 4.3.1.5. G Öçümü ses basınç düzeyi                                       | 34        |
| 4.3.1.6. D Öçümü ses basınç düzeyi                                       | 34        |
| 4.3.2. Bina dışı karayolu gürültüsü değerlendirme kriterleri             | 34        |
| 4.3.2.1. Eşdeğer sürekli ses basınç düzeyi                               | 34        |
| 4.3.2.2. Gündüz-gece ortalama ses düzeyi                                 | 36        |
| 4.3.2.3. Düzey dağılımı                                                  | 37        |
| 4.3.2.4. Gürültü kirliliği düzeyi                                        | 37        |
| 4.3.2.5. Trafik gürültüsü indeksi                                        | 38        |
| 4.3.3. Bina içi karayolu gürültüsü değerlendirme kriterleri              | 38        |
| 4.3.3.1. Konuşma girişi düzeyi                                           | 39        |
| 4.3.3.2. Gürültü kriteri eğrileri                                        | 40        |
| 4.3.3.3. Kabul edilebilir gürültü kriteri eğrileri                       | 44        |
| 4.3.3.4. Dengelenmiş gürültü kriteri eğrileri                            | 44        |
| 4.3.3.5. Kompozit gürültü derecesi                                       | 46        |
| 4.3.3.6. Eşdeğer sürekli ses basınç düzeyi                               | 46        |
| <b>5. SES YALITIMI AÇISINDAN YAPI ELEMANLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ</b>    | <b>47</b> |
| 5.1. Giriş                                                               | 47        |
| 5.2. Hava Doğuşunu Sesler                                                | 47        |
| 5.3. Ses Geçiş Kaybı                                                     | 48        |
| 5.4. Ses Yutuculuğu ve Ses Yalıtımı                                      | 49        |
| 5.5. Tek Tabakalı Yapı Konstrüksiyonları                                 | 50        |
| 5.5.1. Kütle kanunu                                                      | 50        |
| 5.5.2. Kritik frekans                                                    | 51        |
| 5.5.2.1. Malzeme kalınlığı ve kritik frekans etkisi                      | 53        |
| 5.5.2.2. Yapı malzemesinin sönümleyiciliği ve kritik frekans etkisi      | 55        |
| <b>5.6. İki Tabakalı yapı Konstrüksiyonları</b>                          | <b>56</b> |
| 5.6.1. Ses geçiş kaybı                                                   | 56        |
| 5.6.1.1. Yapı konstrüksiyonunun tabakalarını ayırmanın önemi             | 57        |
| 5.6.1.2. Yapı tabakalarının birbirinden farklı olmasının önemi           | 57        |

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5. 6. 1. 3. Boşlukta gözenekli ses yutucu malzeme kullanmanın önemi                     | 57        |
| 5. 6. 1. 4. Geniş boşluk derinliğinin önemi                                             | 58        |
| <b>5. 7. Üç ya da Daha Fazla Tabakalı Yapı Konstrüksiyonlarının Ses Geçiş Kaybı</b>     | <b>60</b> |
| <b>5. 8. Ses İletim Sınıfı</b>                                                          | <b>60</b> |
| 5. 8. 1. STC ölçülendirme sistemi                                                       | 61        |
| 5. 8. 2. STC kontrolü ve STC ölçme kriteri                                              | 62        |
| <b>5. 9. Kompozit Yapı Sisteminin Ses Geçiş Kaybı</b>                                   | <b>63</b> |
| <b>5. 10. Ses Delikleri ve Dolaylı Ses Geçişleri</b>                                    | <b>65</b> |
| 5. 10. 1. Akustik macunlar                                                              | 66        |
| 5. 10. 2. Sesi dolaylı olarak ileten geçişlerin kapatılmasının önemi                    | 67        |
| <b>5. 11. Laboratuvar - Alan Ses İletim Sınıfı</b>                                      | <b>67</b> |
| <b>5. 12. Tavan Ses İletim Sınıfı</b>                                                   | <b>68</b> |
| <b>5. 13. Bina Dışı - Bina İçi Ses İletim Sınıfı</b>                                    | <b>68</b> |
| <b>5. 14. Hava Oşunu Seslerinin Yalıtımı</b>                                            | <b>69</b> |
| 5. 14. 1. Betonarme duvar ve döşemeler                                                  | 69        |
| 5. 14. 2. Tek tabakalı yığma duvarlar                                                   | 70        |
| 5. 14. 3. Boşluklu yığma duvarlar                                                       | 73        |
| 5. 14. 4. Kaplamalı yığma duvarlar                                                      | 75        |
| 5. 14. 5. Hafif alçı panel sistemler                                                    | 77        |
| 5. 14. 6. Ses yalıtımı sağlayan pencereler                                              | 82        |
| 5. 14. 6. 1. Hava akımının kontrolü                                                     | 82        |
| 5. 14. 6. 2. Cam kalınlığı ve lamine cam kullanımı                                      | 82        |
| 5. 14. 6. 3. Çift cam kullanımı                                                         | 83        |
| 5. 14. 6. 4. Pencerenin iç kesiminin ses yutucu malzemeyle kaplanması                   | 84        |
| 5. 14. 6. 5. Pencerelemin ses yalıtımında QTC ve STC farkı                              | 85        |
| 5. 14. 7. Ses yalıtımı sağlayan kapılar                                                 | 85        |
| <b>6. YAPI ELEMANLARININ GÜRÜLTÜ AÇISINDAN DEĞERLENDİRMEK İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER</b> | <b>87</b> |
| <b>6. 1. Giriş</b>                                                                      | <b>87</b> |
| <b>6. 2. Kuramsal Yöntem</b>                                                            | <b>87</b> |
| 6. 2. 1. Katı cisimlerde ses dalgalarının yayılımı                                      | 88        |
| 6. 2. 2. Sesin hızı                                                                     | 88        |
| 6. 2. 3. Kritik frekans                                                                 | 90        |
| 6. 2. 4. Rezonans frekansı                                                              | 91        |
| 6. 2. 5. Tek tabakalı elemanların ses geçiş kaybının hesaplanması                       | 92        |
| 6. 2. 6. Kaplamalı yapı elemanlarının ses geçiş kaybının hesaplanması                   | 100       |
| 6. 2. 7. Kompozit yapı elemanlarının ses geçiş kaybının hesaplanması                    | 102       |

|                                                                                                                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>6.3. DeneySEL Yöntem</b>                                                                                                 | <b>106</b> |
| 6.3.1. Giriş                                                                                                                | 106        |
| 6.3.2. Prinsip                                                                                                              | 106        |
| 6.3.3. Ölçüm ve analizde kullanılan aletler                                                                                 | 107        |
| 6.3.4. Ölçüm yöntemi                                                                                                        | 107        |
| 6.3.5. Deney ölçümlerinin analizi                                                                                           | 108        |
| <b>7. TAKSİM VE BEŞİKTAŞ ÇEVRESİNDE YAPI ELEMANLARININ GÜRÜLTÜ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: KURAMSAL VE DENEYSEL AÇIDAN</b> | <b>110</b> |
| 7.1. Giriş                                                                                                                  | 110        |
| <b>7.2. İstanbul İl Turizm Bakanlığı'nın (Beşiktaş) Kuramsal ve DeneySEL Açısından Değerlendirilmesi</b>                    | <b>110</b> |
| 7.2.1. Giriş                                                                                                                | 110        |
| 7.2.2. DeneySEL yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybının hesaplanması                                                     | 111        |
| 7.2.3. Kuramsal yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybının hesaplanması                                                     | 115        |
| 7.2.4. Bina içi NCB kriterinin seçilmesi                                                                                    | 119        |
| 7.2.5. DeneySEL ve kuramsal yöntem sonuçlarının karşılaştırılması                                                           | 121        |
| 7.2.6. DeneySEL yöntem sonuçlarıyla NCB kriterine bağlı sonuçların karşılaştırılması                                        | 122        |
| <b>7.3. Türkcell Bayisi'nin (Beşiktaş) Kuramsal ve DeneySEL Açısından Değerlendirilmesi</b>                                 | <b>123</b> |
| 7.3.1. Giriş                                                                                                                | 123        |
| 7.3.2. DeneySEL yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybının hesaplanması                                                     | 123        |
| 7.3.3. Kuramsal yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybının hesaplanması                                                     | 127        |
| 7.3.4. Bina içi NCB kriterinin seçilmesi                                                                                    | 131        |
| 7.3.5. DeneySEL ve kuramsal yöntem sonuçlarının karşılaştırılması                                                           | 133        |
| 7.3.6. DeneySEL yöntem sonuçlarıyla NCB kriterine bağlı sonuçların karşılaştırılması                                        | 134        |
| <b>7.4. Vakıflar Bankası Binası'nın (Beşiktaş) Kuramsal ve DeneySEL Açısından Değerlendirilmesi</b>                         | <b>135</b> |
| 7.4.1. Giriş                                                                                                                | 135        |
| 7.4.2. DeneySEL yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybının hesaplanması                                                     | 135        |
| 7.4.3. Kuramsal yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybının hesaplanması                                                     | 140        |
| 7.4.4. Bina içi NCB kriterinin seçilmesi                                                                                    | 147        |
| 7.4.5. DeneySEL ve kuramsal yöntem sonuçlarının karşılaştırılması                                                           | 149        |
| 7.4.6. DeneySEL yöntem sonuçlarıyla NCB kriterine bağlı sonuçların karşılaştırılması                                        | 150        |

|                                                                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>7.5 İstanbul Metro Kumanda Merkezi Binası'nın (Beşiktaş) Kuramsal ve Deneysel Açısından Değerlendirilmesi</b> | <b>151</b> |
| 7.5.1. Giriş                                                                                                     | 151        |
| 7.5.2. Deneysel yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybının hesaplanması                                          | 151        |
| 7.5.3. Kuramsal yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybının hesaplanması                                          | 156        |
| 7.5.4. Bina içi NCB kriterinin seçilmesi                                                                         | 162        |
| 7.5.5. Deneysel ve kuramsal yöntem sonuçlarının karşılaştırılması                                                | 164        |
| 7.5.6. Deneysel yöntem sonuçlarıyla NCB kriterine bağlı sonuçların karşılaştırılması                             | 166        |
| <b>7.6 Taxi m Hill Otel Binası'nın (Beşiktaş) Kuramsal ve Deneysel Açısından Değerlendirilmesi</b>               | <b>167</b> |
| 7.6.1. Giriş                                                                                                     | 167        |
| 7.6.2. Deneysel yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybının hesaplanması                                          | 167        |
| 7.6.3. Kuramsal yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybının hesaplanması                                          | 171        |
| 7.6.4. Bina içi NCB kriterinin seçilmesi                                                                         | 175        |
| 7.6.5. Deneysel ve kuramsal yöntem sonuçlarının karşılaştırılması                                                | 177        |
| 7.6.6. Deneysel yöntem sonuçlarıyla NCB kriterine bağlı sonuçların karşılaştırılması                             | 178        |
| <b>7.7 Dvan Restoran Binası'nın (Beşiktaş) Kuramsal ve Deneysel Açısından Değerlendirilmesi</b>                  | <b>179</b> |
| 7.7.1. Giriş                                                                                                     | 179        |
| 7.7.2. Deneysel yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybının hesaplanması                                          | 179        |
| 7.7.3. Kuramsal yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybının hesaplanması                                          | 183        |
| 7.7.4. Bina içi NCB kriterinin seçilmesi                                                                         | 187        |
| 7.7.5. Deneysel ve kuramsal yöntem sonuçlarının karşılaştırılması                                                | 189        |
| 7.7.6. Deneysel yöntem sonuçlarıyla NCB kriterine bağlı sonuçların karşılaştırılması                             | 190        |
| <b>8. SONUÇ</b>                                                                                                  | <b>191</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                                                                 | <b>193</b> |
| <b>EKLER</b>                                                                                                     | <b>195</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                                                                  | <b>222</b> |

## **KISALTMALAR**

|              |                                       |
|--------------|---------------------------------------|
| <b>WHO</b>   | : World Health Organization           |
| <b>EPA</b>   | : Environmental Protection Agency     |
| <b>AI</b>    | : Articulation Index                  |
| <b>SIL</b>   | : Speech Interference Level           |
| <b>STI</b>   | : Speech Transmission index           |
| <b>RASTI</b> | : Rapid Speech Transmission index     |
| <b>SEL</b>   | : Sound Exposure Level                |
| <b>NPL</b>   | : Noise Pollution Level               |
| <b>TNI</b>   | : Traffic Noise Index                 |
| <b>NC</b>    | : Noise Criteria                      |
| <b>PNC</b>   | : Preferred Noise Criteria            |
| <b>NCB</b>   | : Balanced Noise Criteria             |
| <b>CNR</b>   | : Composite Noise Rating              |
| <b>STC</b>   | : Sound Transmission Class            |
| <b>FSTC</b>  | : Field Sound Transmission Class      |
| <b>CSTC</b>  | : Ceiling Sound Transmission Class    |
| <b>OTC</b>   | : Outdoor – Indoor Transmission Class |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                                | <u>Sayfa No</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 3.1.</b> Toplumdaki gürültü kaynaklarının çeşitli gündüz – gece ortalama ses düzeylerine maruz kalan ABD nüfusu ..... | 11              |
| <b>Tablo 4.1.</b> Gürültü kriterlerinin oktav band değerleri .....                                                             | 42              |
| <b>Tablo 4.2.</b> Boş mekanlar tipleri için önerilen gürültü kriteri değerleri .....                                           | 43              |
| <b>Tablo 4.3.</b> Mekan tiplerine göre olması gereken NCB değerleri .....                                                      | 46              |
| <b>Tablo 5.1.</b> Bazı Yapı Malzemelerinin Yaklaşık Kritik Frekans Değerleri ...                                               | 54              |
| <b>Tablo 5.2.</b> Duvardaki Açıklıklarla Ses Geçiş Kaybının Düşmesi .....                                                      | 64              |
| <b>Tablo 5.3.</b> 13 mm kalınlığında alçı panel ve ahşap dikmelerden oluşmuş çeşitli sistemlerin STC değerleri .....           | 80              |
| <b>Tablo 5.4.</b> Tek camlı pencerelerin cam kalınlığına bağlı olarak STC değerleri .....                                      | 83              |
| <b>Tablo 5.5.</b> Çeşitli çift camlı pencere sistemlerinin STC değerleri .....                                                 | 84              |
| <b>Tablo 5.6.</b> Çeşitli kapı tiplerinin STC değerleri .....                                                                  | 86              |
| <b>Tablo 7.1.</b> İstanbul İl Turizm Müdürlüğü Binası - Gürültü Analiz Sonuçları                                               | 111             |
| <b>Tablo 7.2.</b> İstanbul İl Turizm Müdürlüğü Binası – Frekans Analizi                                                        | 111             |
| <b>Tablo 7.3.</b> İl Turizm Binası – Eşdeğer Yutuculuk Alanının (A) Hesaplanması .....                                         | 114             |
| <b>Tablo 7.4.</b> Yapı Henamının Kuramsal Ses Geçiş Kayıp Değerleri .....                                                      | 118             |
| <b>Tablo 7.5.</b> Kuramsal – Deneysel Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması .....                                     | 121             |
| <b>Tablo 7.6.</b> Deneysel – NCB Kriterine Bağlı Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması .....                          | 122             |
| <b>Tablo 7.7.</b> Turkecell Bayii – Gürültü Analiz Sonuçları .....                                                             | 123             |
| <b>Tablo 7.8.</b> Turkecell Bayii – Frekans Analizi. ....                                                                      | 124             |
| <b>Tablo 7.9.</b> Turkecell Bayii – Eşdeğer Emicilik Alanının (A) Hesaplanması....                                             | 126             |
| <b>Tablo 7.10.</b> Yapı Henamının Kuramsal Ses Geçiş Kayıp Değerleri.....                                                      | 130             |
| <b>Tablo 7.11.</b> Kuramsal – Deneysel Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması .....                                    | 133             |
| <b>Tablo 7.12.</b> Deneysel – NCB Kriterine Bağlı Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması .....                         | 134             |
| <b>Tablo 7.13.</b> Vakıflar Bankası - Gürültü Analiz Sonuçları .....                                                           | 136             |
| <b>Tablo 7.14.</b> Vakıflar Bankası - Frekans Analizi .....                                                                    | 136             |
| <b>Tablo 7.15.</b> Vakıflar Bankası – Eşdeğer Emicilik Alanının (A) Hesaplanması                                               | 139             |
| <b>Tablo 7.16.</b> Betonarme Kolonun Kuramsal Ses Geçiş Kayıp Değerleri .....                                                  | 142             |
| <b>Tablo 7.17.</b> Betonarme Duvarın Kuramsal Ses Geçiş Kayıp Değerleri .....                                                  | 145             |
| <b>Tablo 7.18.</b> Kuramsal – Deneysel Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması .....                                    | 149             |
| <b>Tablo 7.19.</b> Deneysel – NCB Kriterine Bağlı Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması .....                         | 150             |

|                     |                                                                                     |     |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 7. 20.</b> | İstanbul Metro Kumanda Merkezi – Gürültü Analiz Sonuçları ....                      | 152 |
| <b>Tablo 7. 21.</b> | İstanbul Metro Kumanda Merkezi – Frekans Analizi .....                              | 152 |
| <b>Tablo 7. 22.</b> | İstanbul Metro Kumanda Merkezi – Eşdeğer Emicilik Alanının (A) Hesaplanması .....   | 155 |
| <b>Tablo 7. 23.</b> | Yapı Henanının Kuramsal Ses Geçiş Kayıp Değerleri.....                              | 161 |
| <b>Tablo 7. 24.</b> | Kuramsal – Deneysel Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması .....            | 164 |
| <b>Tablo 7. 25.</b> | Deneysel – NCB Kriterine Bağlı Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması ..... | 166 |
| <b>Tablo 7. 26.</b> | Taxi m Hll Öeli – Gürültü Analiz Sonuçları .....                                    | 167 |
| <b>Tablo 7. 27.</b> | Taxi m Hll Öeli – Frekans Analizi .....                                             | 168 |
| <b>Tablo 7. 28.</b> | Taxi m Hll Öeli – Eşdeğer Emicilik Alanının (A) Hesaplanması .....                  | 170 |
| <b>Tablo 7. 29.</b> | Yapı Henanının Kuramsal Ses Geçiş Kayıp Değerleri.....                              | 174 |
| <b>Tablo 7. 30.</b> | Kuramsal – Deneysel Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması .....            | 177 |
| <b>Tablo 7. 31.</b> | Deneysel – NCB Kriterine Bağlı Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması ..... | 178 |
| <b>Tablo 7. 32.</b> | Di van Restoran – Gürültü Analiz Sonuçları .....                                    | 179 |
| <b>Tablo 7. 33.</b> | Di van Restoran – Frekans Analizi .....                                             | 180 |
| <b>Tablo 7. 34.</b> | Di van Restoran – Eşdeğer Emicilik Alanının (A) Hesaplanması ...                    | 182 |
| <b>Tablo 7. 35.</b> | Yapı Henanının Kuramsal Ses Geçiş Kayıp Değerleri.....                              | 185 |
| <b>Tablo 7. 36.</b> | Kuramsal – Deneysel Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması .....            | 189 |
| <b>Tablo 7. 37.</b> | Deneysel – NCB Kriterine Bağlı Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması ..... | 190 |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                              | <u>Sayfa No</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Şekil 3.1</b> : Cessna 172 uçağında 91 dB'lik gürültüye maruz kalan pilotun sağ kulağındaki duyma eşiği kaybı .....       | 13              |
| <b>Şekil 3.2</b> : Schultz eğrisi .....                                                                                      | 23              |
| <b>Şekil 4.1</b> : Konuşma girişi mi düzeyleri grafiği.....                                                                  | 40              |
| <b>Şekil 4.2</b> : Gürültü kriteri eğrileri .....                                                                            | 41              |
| <b>Şekil 4.3</b> : NCB eğrileri.....                                                                                         | 45              |
| <b>Şekil 5.1</b> : Ses geçiş kaybı .....                                                                                     | 48              |
| <b>Şekil 5.2</b> : Titreşim halindeki malzeme parçasının kaybı .....                                                         | 50              |
| <b>Şekil 5.3</b> : Bir yapı malzemesinin kütle değişimiyle aldığı ses geçiş kaybı değerleri .....                            | 51              |
| <b>Şekil 5.4</b> : Tek tabakalı bir yapı konstrüksiyonunun ses geçiş kaybı-frekans ilişkisi .....                            | 52              |
| <b>Şekil 5.5</b> : Lamin cam sistemi .....                                                                                   | 56              |
| <b>Şekil 5.6</b> : Üç ayrı cam sisteminin ses geçiş kaybı – frekans ilişkilerini karşılaştırılması.....                      | 59              |
| <b>Şekil 5.7</b> : Malzeme panelinin ses geçiş kaybını ölçmek için hazırlanan ölçüm ortamı .....                             | 61              |
| <b>Şekil 5.8</b> : Standart STC Kontürü.....                                                                                 | 62              |
| <b>Şekil 5.9</b> : Bir duvar sisteminin, farklı duvar ses geçiş kaybı değerleriyle aldığı son ses geçiş kaybı değerleri..... | 65              |
| <b>Şekil 5.10</b> : Beton ve tuğla bloklara harcı n uygulanma şekli .....                                                    | 71              |
| <b>Şekil 5.11</b> : 100 mm 200 mm ve 300 mm kalınlığında üç tip tuğla duvarın ses geçiş kaybı – frekans ilişkisi .....       | 72              |
| <b>Şekil 5.12</b> : Strüktürel olarak bağımsız tabakalardan oluşmuş boşluklu duvar sistemi .....                             | 74              |
| <b>Şekil 5.13</b> : Yığma bir duvara çeşitli yollardan kaplama eklenerek ses izolasyonunun artırılması .....                 | 76              |
| <b>Şekil 5.14</b> : Açı panel ve çelik dikeyli sistemlerin ses geçiş kaybı – frekans ilişkisi.....                           | 78              |
| <b>Şekil 5.15</b> : Şaşırtılmış dikey ve çift sıra dikey kullanılan sistemler.....                                           | 79              |
| <b>Şekil 5.16</b> : Açı panel sistemin detayları .....                                                                       | 81              |
| <b>Şekil 6.1</b> : Ses dalgalarının türleri .....                                                                            | 88              |
| <b>Şekil 6.2</b> : $f_c > 2f_{nm}$ olduğunda ses geçiş kaybı .....                                                           | 92              |
| <b>Şekil 6.3</b> : $f_c < f_{nm}$ olduğunda ses geçiş kaybı – frekans ilişkisi .....                                         | 93              |
| <b>Şekil 6.4</b> : $f_{nm} < f_c < 2f_{nm}$ olduğunda ses geçiş kaybı – frekans ilişkisi .....                               | 93              |
| <b>Şekil 6.5</b> : Kütle kontrollü yapı elemanlarında kuramsal ses geçiş kaybı eğrileri .....                                | 97              |
| <b>Şekil 6.6</b> : Aansal ses geçiş kaybının hesaplanması için kullanılan grafik .....                                       | 99              |

|                  |                                                                                        |     |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 6.7</b> | : Kompozit yapı elemanlarında ses yalıtımkayıbı değeri nin bulunması .....             | 105 |
| <b>Şekil 6.8</b> | : Deney düzeneği .....                                                                 | 108 |
| <b>Şekil 7.1</b> | : İç ve dış ses basınç düzeyi – frekans ilişkisi .....                                 | 112 |
| <b>Şekil 7.2</b> | : İç ve dış ses basınç düzeyi – frekans ilişkisi .....                                 | 124 |
| <b>Şekil 7.3</b> | : İç ve dış ses basınç düzeyi – frekans ilişkisi .....                                 | 137 |
| <b>Şekil 7.4</b> | : İç ve dış ses basınç düzeyi – frekans ilişkisi .....                                 | 153 |
| <b>Şekil 7.5</b> | : İç ve dış ses basınç düzeyi – frekans ilişkisi .....                                 | 168 |
| <b>Şekil 7.6</b> | : İç ve dış ses basınç düzeyi – frekans ilişkisi .....                                 | 180 |
| <b>Şekil A.1</b> | : İl Turizm Binası (Beşiktaş): Vaziyet Planı, Ö 1/ 1000 .....                          | 196 |
| <b>Şekil A.2</b> | : İl Turizm Binası (Beşiktaş): 1. Kat Planı, Ö 1/ 100 .....                            | 197 |
| <b>Şekil A.3</b> | : İl Turizm Binası (Beşiktaş): Kesit ve Öngörünüş, Ö 1/ 100 .....                      | 198 |
| <b>Şekil B.1</b> | : Turkcell Bayii (Beşiktaş): Vaziyet Planı, Ö 1/ 1000.....                             | 200 |
| <b>Şekil B.2</b> | : Turkcell Bayii (Beşiktaş): Zemin Kat Planı ve Ön Görünüş, Ö 1/ 50.....               | 201 |
| <b>Şekil C.1</b> | : Vakıflar Bankası (Beşiktaş): Vaziyet Planı, Ö 1/ 1000 .....                          | 203 |
| <b>Şekil C.2</b> | : Vakıflar Bankası (Beşiktaş): 1. Kat Planı ve Ön Görünüş, Ö 1/ 100 .....              | 204 |
| <b>Şekil C.3</b> | : Vakıflar Bankası (Beşiktaş): Cephe Kesitleri, Ö 1/ 50 .....                          | 205 |
| <b>Şekil D.1</b> | : İstanbul Metro Kumanda Merkezi (Taksim): Vaziyet Planı, Ö 1/ 1000.....               | 207 |
| <b>Şekil D.2</b> | : İstanbul Metro Kumanda Merkezi (Taksim): Zemin Kat Planı ve Öngörünüş, Ö 1/ 50 ..... | 208 |
| <b>Şekil D.3</b> | : İstanbul Metro Kumanda Merkezi (Taksim): Cephe Kesiti, Ö 1/ 50.....                  | 209 |
| <b>Şekil E.1</b> | : Taxi mHil Oeli (Taksim): Vaziyet Planı, Ö 1/ 1000.....                               | 211 |
| <b>Şekil E.2</b> | : Taxi mHil Oeli (Taksim): 1. Kat Yatak Odası Planı, Ö 1/ 50.....                      | 212 |
| <b>Şekil E.3</b> | : Taxi mHil Oeli (Taksim): 1. Kat Yatak Odası Kesiti, Ö 1/ 50.....                     | 213 |
| <b>Şekil E.4</b> | : Taxi mHil Oeli (Taksim): Ön Görünüş, Ö 1/ 200.....                                   | 214 |
| <b>Şekil E.1</b> | : Dıvan Restoran (Taksim): Vaziyet Planı, Ö 1/ 1000.....                               | 216 |
| <b>Şekil E.2</b> | : Dıvan Restoran (Taksim): Zemin Kat Planı, Ö 1/ 200.....                              | 217 |
| <b>Şekil E.3</b> | : Dıvan Restoran (Taksim): Giriş Planı, Ö 1/ 50.....                                   | 218 |
| <b>Şekil E.4</b> | : Dıvan Restoran (Taksim): Kesit, Ö 1/ 50.....                                         | 219 |
| <b>Şekil E.5</b> | : Dıvan Restoran (Taksim): Kesit, Ö 1/ 50.....                                         | 220 |
| <b>Şekil E.6</b> | : Dıvan Restoran (Taksim): Ön Görünüş, Ö 1/ 200.....                                   | 221 |

## SEMBOL LİSTESİ

|                             |                                                                |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>dB</b>                   | : Ses basınç düzeyi, dB                                        |
| <b>dBA</b>                  | : A ölçümü ses basınç düzeyi                                   |
| <b><math>L_{eq}</math></b>  | : Eşdeğer sürekli ses basınç düzeyi, dB                        |
| <b><math>L_{dn}</math></b>  | : Gece – gündüz ortalama ses basınç düzeyi, dB                 |
| <b><math>L_{max}</math></b> | : Maksimum ses basınç düzeyi, dB                               |
| <b>R</b>                    | : Ses geçiş kaybı, dB                                          |
| <b>TL</b>                   | : Ses geçiş kaybı, dB                                          |
| <b>B</b>                    | : Eğilme sertliği, N m                                         |
| <b>E</b>                    | : Hastikiyet modülü, N/ m <sup>2</sup>                         |
| <b>d</b>                    | : Yapı elemanının kalınlığı, m                                 |
| <b><math>c_L</math></b>     | : Uzunluğuna dalgaların ses hızı, m/ sn                        |
| <b><math>\rho</math></b>    | : Yapı elemanının yoğunluğu, kg/ m <sup>3</sup>                |
| <b><math>\sigma</math></b>  | : Poisson oranı                                                |
| <b><math>c_S</math></b>     | : Kesme dalgalarının ses hızı, m/ sn                           |
| <b>G</b>                    | : Kesme modülü, N/ m <sup>2</sup>                              |
| <b><math>c_T</math></b>     | : Bükme dalgalarının ses hızı, m/ sn                           |
| <b>K</b>                    | : Bükme sertliği, m <sup>4</sup>                               |
| <b>I</b>                    | : Kutupsal moment, m <sup>4</sup>                              |
| <b><math>c_B</math></b>     | : Eğilme dalgalarının ses hızı, m/ sn                          |
| <b>f</b>                    | : Sesi n frekansı, Hz                                          |
| <b><math>\rho_s</math></b>  | : Yapı elemanının alan ağırlığı, kg/ m <sup>2</sup>            |
| <b>m</b>                    | : Yapı elemanının alan ağırlığı, kg/ m <sup>2</sup>            |
| <b><math>f_c</math></b>     | : Kritik frekans, Hz                                           |
| <b><math>f_{nm}</math></b>  | : Rezonans frekansı, Hz                                        |
| <b><math>f_{res}</math></b> | : Rezonans frekansı, Hz                                        |
| <b><math>l_x</math></b>     | : Yapı elemanının eni, m                                       |
| <b><math>l_y</math></b>     | : Yapı elemanının boyu, m                                      |
| <b>n</b>                    | : x eksenini doğrultusunda oluşan rezonans sayısı              |
| <b>m</b>                    | : y eksenini doğrultusunda oluşan rezonans sayısı              |
| <b><math>\tau</math></b>    | : Ses geçiş katsayısı                                          |
| <b>W</b>                    | : Yapı elemanından iletilen güç, Watt                          |
| <b><math>W_g</math></b>     | : Yapı elemanına gelen güç, Watt                               |
| <b><math>I_i</math></b>     | : Yapı elemanından iletilen ses şiddeti, Watt / m <sup>2</sup> |
| <b><math>I_g</math></b>     | : Yapı elemanına gelen ses şiddeti, Watt / m <sup>2</sup>      |
| <b><math>P_i</math></b>     | : Yapı elemanından iletilen ses basıncı, N/ m <sup>2</sup>     |
| <b><math>P_g</math></b>     | : Yapı elemanından iletilen ses basıncı, N/ m <sup>2</sup>     |
| <b><math>\eta</math></b>    | : Yapı elemanının kayıp faktörü                                |
| <b>c</b>                    | : Sesi n havadaki hızı, m/ sn                                  |

|                |                                                  |
|----------------|--------------------------------------------------|
| $\theta$       | : Sesi n geliş açısı                             |
| $\theta_{i m}$ | : Ses alanı nda ol uşan sınır açısı              |
| $S$            | : Yapı elemanı nın alanı, m <sup>2</sup>         |
| $A$            | : Eşdeğer emicilik alanı, sabit m <sup>2</sup>   |
| $\alpha$       | : Yapı elemanı nın ses emicilik katsayısı, sabit |

## ÖZET

Tezin amacı, bina cephelerinin, gürültüye bağlı olarak ses yalıtım performanslarının deneysel ve teorik olarak değerlendirilmesidir. Örnek olarak Taksim ve Beşiktaş'taki bina cepheleri değerlendirilmiştir.

Birinci bölümde, genel olarak gürültünün tanım yapılmış ve geçmişten günümüze gürültü kontrolü incelenmiştir. Teknolojik gelişmeler sonucu yapı elemanlarındaki değişimler ele alınmış ve eski yapı elemanlarıyla yeni yapı elemanları kısaca karşılaştırılmıştır. Ayrıca, gürültü kavramının değerlendirilmesindeki güçlüklerin nedeni açıklanmıştır.

İkinci bölümde, genel olarak karayolu gürültüsü incelenmiştir. Öncelikle, nokta kaynak olarak tek bir taşıt ele alınmış ve taşıtlarda gürültü kaynağı olan motor, lastik ve yol yüzeyi gibi faktörler açıklanmıştır. İkinci olarak, çizgi kaynak olarak trafik akışı incelenmiştir. Trafik akışını etkileyen trafik, yol, iklim parametresi ve çevresel parametreler açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, gürültünün ve özellikle karayolu gürültüsünün insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri incelenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Amerika Çevre Koruma Dairesi (EPA) gibi konusunda güvenilir kuruluşların, gürültünün olumsuz etkileri üzerine yaptığı araştırmalar ve sunduğu raporlar incelenmiştir. Bunların sonucunda, gürültünün sağlık üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde sınıflandırılmıştır.

Dördüncü bölümde, karayolu gürültüsünün uluslararası açıdan değerlendirilmesi yapılmış, bina içinde ve bina dışında karayolu gürültüsünü değerlendirme kriterleri açıklanmıştır. Uluslararası değerlendirilmede, gürültü kontrolü konusunda gelişmiş Avrupa ülkelerindeki ve Amerika'daki çalışmalar incelenmiş ve Türkiye'deki durum değerlendirilmiştir. Bina içindeki ve bina dışındaki karayolu gürültüsü kriterleri, uluslararası literatürde en çok geçerliliği olanlar seçilerek belirlenmiştir.

Beşinci bölümde, ses yalıtım açısından yapı elemanları değerlendirilmiştir. Tek tabakalı, çift tabakalı ve daha fazla tabakalı yapı konstrüksiyonlarında ses yalıtım esasları ve kullanılan ölçütler açıklanmıştır. Daha sonra, betonarme duvarlar, yağma duvarlar, alçı panel sistemler, pencereler ve kapılar gibi yapı bileşenlerinin ses yalıtım performansları incelenmiştir.

Altıncı bölümde, yapı elemanlarını karayolu trafik gürültüsü açısından değerlendirmek için kullanılan teorik yöntem ve deneysel yöntem açıklanmıştır.

Yedinci bölümde, Taksim ve Beşiktaş'ta seçilmiş olan yapıların dış duvarlarının gürültü açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Mahallerin açıklamaları yapılmış ve deneysel ölçüm sonuçları verilmiştir. Daha sonra teorik olarak dış duvarların ses yalıtım bulunmuş ve karşılaştırma yapılmıştır. Deneysel ölçüm sonuçları, uluslararası kriter olan NCB kriteriyle karşılaştırılmıştır.

Sonuç bölümünde, genel olarak ölçüm ve değerlendirme sonuçları tekrar değerlendirilmiş ve yorum getirilmiştir.

## SUMMARY

The purpose of this thesis is to evaluate the sound insulation of building facades by experimental and theoretical methods. As samples, the buildings at Beşiktaş and Taksim were chosen.

In the first chapter, the general explanation of noise has been described and the history of noise control until today has been examined. The changes in building materials due to technological improvement have been described, and the comparison of old and new building materials has been made in this chapter. The difficulty of determining the noise numerically and the reasons of this problem have been searched.

In the second chapter, generally, the road traffic noise has been described. First, one single vehicle's properties have been examined due to the motor, tire and road surface parameters. Second, the traffic line has been explained by traffic, road, climate and environmental parameters.

In the third chapter, the effects of noise on health has described. World Health Organization's and Environmental Protection Agency's trustable reports in this topic have been researched and described. In conclusion, the effects of noise have been categorized by the help of these reports.

In the fourth chapter, the explanation of road traffic noise according to international criterias have been written and the outdoor – indoor road traffic noise criterias have been explained. When writing the international standarts, the studies at the European countries and the USA have been researched and the studies at Turkey have been compared. The selected Outdoor – Indoor road traffic noise criterias are the most popular ones at international literature.

In the fifth chapter, the evaluation of the sound insulation of building materials have been described. The sound insulation properties of one layered, two layered and more layered building materials have been examined. Later, the concrete walls, masonry structures, gypsum panel systems, windows and doors have been researched according to their sound insulation properties.

In the sixth chapter, the experimental and theoretical methods that are used to evaluate the building materials have been described.

In the seventh chapter, the sample buildings at Taksim and Beşiktaş were evaluated by experimental and theoretical methods. The sound transmission loss of building facades have been measured by both methods and compared to each other. The experimental results were compared with NCB criteria results.

As conclusion the evaluation results have been generally summarized and future suggestions have been made.

## BÖLÜM 1: GİRİŞ

### 1.1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

Gürültü istenmeyen ses olarak tanımlanabilir.

Gürültünün geçmişi yeni değildir. Bilinen ilk gürültü kontrolü Romalılar zamanında yapılmıştır. Yazılı kaynaklara göre, Roma'da geceleri sokakta savaş arabalarının yarışması yasaklanmıştır. [1]

Endüstri Devrimi ile gelişen teknolojik koşullar ve beraberinde gelen kentleşmeyle gürültünün insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri artmıştır. Şehirlerdeki araba, otobüs gürültüsü, havaalanı gürültüsü ve endüstriyel gürültüler gelişen teknolojinin sonucudur. [1, 2]

Teknolojik gelişmeler, yapı elemanlarında da önemli gelişmelere sebep olmuştur. Günümüzde hafif yapı elemanları olarak adlandırabileceğimiz sandviç paneller ve giydirme cephelerin kullanımı artmasıyla, gürültünün bina içindeki kişileri etkileme oranı da yükselmiştir. Hafif yapı elemanlarının ses yalıtımı düşüktür. Aynı zamanda betonarme ve çelik taşıyıcı sistemlerinin avantajı olarak duvarlar taşıyıcı olmaktan çıkmıştır ve yapı cephelerinde cam oranı artmıştır. Kullanılan camların az ses azaltımına sebep olması da gürültünün iç mekandaki değerini artmıştır. Eski den kullanılmakta olan yığma taşıyıcı sistemde taş ve tuğla duvarlar taşıyıcı olarak görev almaktaydı. Bu sebeple dış duvarlar kalındı ve yüksek ses yalıtım sağlanmaktaydı. Ancak günümüzde malzemelerin değişmesiyle sağlanan gürültü azaltım yeterli olmamaktadır.

Gürültünün toplum üzerindeki etkilerinin bir sebebi de, düzensiz kentleşme sonucu oluşan plansız kentlerdir. Kent ölçeğinde gürültüyü engelleyici önlemler alınmamaktadır. Fabrikalar, konut yerleşimleri, işyerleri gibi iç içe geçmesi sakıncalı olan alanlar plansız kentlerde birarada bulunmaktadır. Otoyollar ve havaalanlarına yakın konut yerleşimleri vardır. Bu sebepten ötürü gürültü kontrolünde öncelikle kent

ölçeğinde denetimi yapılmalıdır. Ancak, denetimsadece yapı elemanı ölçeğinde sınırlı kalmaktadır. Yapı elemanlarının yetersiz olduğu durumlarda da kişiler direkt olarak gürültüye maruz kalmaktadır.

Gürültünün insan üzerinde fizyolojik ve psikolojik etkileri vardır. Bunlar da kendi içinde bölümlere ayrılır. Gürültünün kişiler üzerinde oluşturduğu rahatsızlık temel olarak gürültünün ses basınç düzeyine ve frekans spektrumuna bağlıdır. Ancak, kişilerin gürültüye karşı gösterdiği tepkinin öznel doğası, gürültünün toplum için genelleştirilmesi ve kesin bağlantılarla ifade edilmesini zorlaştırmaktadır. Kişilerin gürültüye karşı toleransı farklıdır. Bir insan için doğal olan bir ses, başka bir insan için gürültü olabilir. Ayrıca, gürültüye karşı verilen tepkilerin fiziksel ya da psikolojik güdüyle oluşup oluşmadığını ayırtlamak güçtür. Bütün bu koşullara göre rağmen, günümüzde gürültü parametreleri saptanmış, kriterler ve bunlara bağlı yasalar oluşturulmuştur. Dünya Sağlık Örgütü'nün tanımlamasına göre "Sağlık, kişinin bütün olarak kendisini fiziksel, ruhsal ve sosyal olarak iyi hissetmesi durumudur ve hastalık, özerlik durumlarının hiç olmasıdır.". Bu tanıma göre gürültü insan sağlığını tehdit eden bir unsurdur. [1, 3]

Türkiye'de, gürültünün önüne geçilmesi ve engellenmesi amacıyla, 11 Aralık 1986 tarih ve 19308 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Gürültü Kontrol Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Ancak, yönetmeliğin uygulanma yetkisi yerel yönetimlere verilmiştir ve yasal olarak uygulanmaktadır. Mevcut eksikliklerin giderilmesi amacıyla bu yönetmelik revizyona tabi tutulmuş ve Gürültü Kontrol Yönetmeliği Taslağı oluşturulmuştur. Ancak hala taslak halindedir. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ve Avrupa ülkelerindeki kapsamlı yasalarla ve kriterlerle karşılaştırıldığında, Türkiye'nin olumsuz durumu ortadadır. A.B.D'de gürültü kontrolü federal yasalar ve yönetmeliklerle sağlanmaktadır. Yasaların uygulanmasından bakanlıklar sorumludur. Avrupa'da ise gürültü kontrolü ülkeler bazında çok gelişmiş olmakla beraber, Avrupa Birliği'nin kuruluşuyla yapılan çalışmalar ilerlemiş ve ortak Avrupa Birliği yasaları oluşturulmuştur. [1, 4-6]

Ülkemizde, yapı elemanlarındaki eksiklikler ve mevcut durumun olumsuzluğunun belirlenmesi amacıyla bu tez çalışması yapılmıştır. Tez çalışmasında, yapı elemanlarının ses yalıtım kriteri açısından, karayolu gürültüsüne karşı sergiledikleri performans deneysel yöntemlerle hesaplanmıştır. Elde edilen değerler, kuramsal sonuçlarla, uluslararası kriterlerle karşılaştırılmış ve eksiklikler saptanmıştır.

## **BÖLÜM2: KARAYOLU GÜRÜLTÜSÜNÜN İNCELENMESİ**

### **2.1. GİRİŞ**

Bu bölümde, karayolu gürültüsü, nokta kaynak olarak tek bir taşıt açısından ve çizgisel kaynak olarak trafik akışı açısından incelenmiştir. Nokta kaynak olarak tek bir taşıt incelenirken, taşıtta gürültüyü oluşturan motor, lastik ve yol yüzeyi gibi faktörler açıklanmıştır. Çizgisel kaynak olarak trafik akışı incelenirken, trafik, yol, iklim parametreleri ve çevresel parametreler açısından gürültü incelenmiştir.

### **2.2. NOKTA KAYNAK OLARAK TEK BİR TAŞITI NİN İNCELENMESİ**

Trafiğin en küçük bileşeni araçtır. Trafik araçları, düşük güçlü mobiliteleden ağır diesel motorlu kamyonlara kadar çeşitlilik gösterir. Gürültü incelenirken, trafik üç kategoriye ayrılır: Arabalar, motosikletler ve ağır ticari araçlar. Yasalar oluşturulurken, kategorilerin sayısı ona kadar çıkabilir. Tek bir motorlu araçtan kaynaklanan gürültü, ayrı ve tanımlanabilir birçok kaynaktan oluşmaktadır. Araçtaki gürültü kaynakları, motor, frenler, iletim fan – soğutma sistemi, yol – fren etkileşimi, egzoz gürültüsü ve aerodinamik gürültü olarak sıralanabilir. Bu faktörlerin önemi, aracın tipine ve büyüklüğüne, hızına, yüküne ve bakımına bağlı olarak değişir. Bu gürültü kaynaklarının değerlendirilmesi ve otomobil mühendisliğinin kapsamına giren problemlerden bu bölümde bahsedilecektir. [8]

Motordaki ana gürültüyü oluşturan iç tutuşmadır. Diesel motordaki yakıtın tutuştuğu bölümdaki gazın sıcaklığı sıkışmadan sonra yükselir. Bu sıcaklık yakıtın tutuşmasına sebep olur. Benzinle çalışan motordaki tutuşma bölümüne giren gaz karışımı, elektrik kontağıyla alev alır.

Motor gürültüsü 3 parametreyle ele alınır:

1. Motorun büyüklüğü: Motor gürültüsü, motor kapasitesinden daha hızlı olarak artar. Örneğin, toplamsilindirik kapasitesi on katına çıktığında, gürültü düzeyi 17.5 dBA artar.
2. Motorun hızı: Dizel motorlarda, motor hızı on katına çıktığında, gürültü 30 dBA artar. Bu değer, benzinle çalışan motorlarda 50 dBA'dır. Yer kazancı sağlamak için kısa devimli üretilen modern motorlarda motor çapı ve hızı artar. Dolayısıyla gürültü de artar.
3. Motor yükü: Benzinle çalışan motorlarda, Aracın yüklü olması durumunda ortaya çıkan gürültü, yüksüz olduğu durumda ortaya çıkan gürültüden 10 dBA fazladır. Ancak dizel motorlarda aracın yüklü veya yüksüz olduğu durumlarda oluşan gürültüler arasında çok az bir fark vardır. [28]

Dizel güç üniteleriyle donatılmış ağır vasıtalar, karayolu trafik gürültüsünün çoğunluğunu oluşturur. Bu tip ağır vasıtaların sessizleştirilmesi zordur. Bunun sebebi, yakıtın tutuşturulmasının oluşturduğu gürültünün yanı sıra, mekanik gürültüsünün, fan gürültüsünün ve egzoz gürültüsünün bulunmasıdır.

Güç ünitelerinden yayılan gürültünün azaltılmasında uygulanacak etkili bir yöntem motor ve vites kutusunun çevresinin kapatılmasıdır. Bu yöntemle, 11 dBA'ya varan gürültü azaltımı elde edilebilir. Kapatmada kullanılan malzeme, yüksek yoğunluklu olmalıdır. Ancak maliyet ve motorun tamir kolaylığı açısından malzemenin ağırlığına dikkat edilmelidir.

Küçük ve orta boyutlarda motora sahip arabalarda, şehir içi düşük hızlarda oluşan egzoz gürültüsü öne çıkar. Bu problem yüksek performanslı arabalar dahil olmak üzere, etkili bir susturucu aracının kullanılmasıyla azaltılabilir.

Motorsiklet ve diğer iki tekerlekli araçlarda, başka faktörler de devreye girer. Açıkta hava ile soğutulan motorlar, etkili gürültü kaynaklarıdır. Bu problem motorların su ile soğutulmasıyla çözülebilir. [8]

Yüksek hızlarda, lastiğin yol yüzeyiyle teması sonucu oluşan aerodinamik gürültü daha önemli hale gelir ve bazı araçlarda en baskın gürültüyü oluşturur. Gürültü düzeyi, hız, lastiğin tipine, dokusuna, kıvrımlarına ve yüke bağlı olarak değişir. Yol yüzeyi gözönüne alındığında gürültü düzeyini, yol yüzeyinin malzemesi, yüzey bitiş malzemesi, o an için geçerli olan hava koşulları etkilemektedir. Yüzeyin kuru olduğu durumlarda, beton yüzeyler, asfalt yüzeylerden sadece 1 dBA fazla gürültü oluşturur. Ancak, yüksek hızla dayanıklılığın gerektiği otobanlarda yapılmış olan sert yol yüzeyi, düşük gürültü yayılımı isteğiyle çakıştır. [28]

Beton yollarda, ters yönde oluşturulmuş yivler, pürüzlü olarak dökülmüş beton yollardan 4 dBA daha yüksek gürültü oluşturur. Yivlerin düzenli olarak oluşturulması, oluşan gürültü spektrumunda belirli tonların oluşmasına sebep olur. Bu tonal karakter gürültüden kaynaklanan rahatsızlığın artmasına yol açar. Yarı – rastgele şekilde yivlerin yerleştirilmesi, yol üzerinde kaymaları da engelleyerek, gürültünün verdiği rahatsızlığı azaltır. Üreticilerin ve inşaat mühendislerinin, yiv aralıklarını, lastik dokusuna göre yerleştirmeleriyle, yol yüzeyi – lastik etkileşiminden doğan dominant tonlar engellenmiştir.

Arabalar ve diğer hafif araçlar gözönüne alındığında, yağışlı havalarda, yol yüzeyi üzerindeki suyun oluşturduğu gürültü spektrumu, 1000 Hz frekansının üstünde baskın karakterdedir. Kamyonlar ve benzeri araçlarda, düşük hızlarda, bu durum çok önemli değildir. Çünkü bu araçlarda, güç ünitesinin oluşturduğu gürültü önecıkmaktadır. Islak asfalt yol yüzeylerinde oluşan gürültü, kuruyken oluşan gürültüden 10 dBA fazladır. Beton yüzeylerde ise aradaki fark daha fazladır.

Çeşitli motorlu araçlarda, sabit hızda belirli bir test yolu üzerinde tekrarlanan test sürüşlerinde, gürültü düzeylerinin yükseldiği durumlarda çeşitli ölçümler yapılmıştır. Bu testlerde gürültü düzeyi, yol hızının fonksiyonu olarak ele alınmıştır. Belirli bir araç için, belirli bir viteste, gürültü düzeyi, aracın hızının logaritmik fonksiyonu olarak kabul edilir. Tipik yolcu arabaları ve benzinle çalışan hafif araçlarda, hızın iki katına çıkmasıyla, gürültü düzeyinde 6 – 15 dBA arasında bir artış görülür. Belirli hız aralığı içindeki bu değerler için, gürültü düzeyi artışı 11 dBA olarak genellenir. En az 60 km/s'e kadar olan hızlarda, ağır dizel motorlu araçlarda, hızın iki katına çıkmasıyla meydana gelen gürültü artışı 9 dBA kabul edilir. Bu artış, yüksek hızlarda gürültünün baskınlaşmasıyla daha da artar. [8]

## 2.3. ÇİZGİ KAYNAK OLARAK TRAFİK AKIŞI NİN İNCELENMESİ

Tek bir aracın yaydığı gürültü, aracın kendi özelliklerine bağlı olarak değişir. Bütün bir karayolu trafiği söz konusu olduğunda, farklı özelliklere sahip birçok aracın oluşturduğu gürültü devreye girer. Bu durumda gürültü kaynağı, birçok aracı içeren çizgi kaynaktır. Aynı zamanda başka parametreler de karayolu trafik gürültüsünü etkilemektedir. Trafik parametresi, yol parametresi, çevresel parametreler ve iklim parametresi, koşullara bağlı olarak gürültü yayılımında rol üstlenir.

### 2.3.1. TRAFİK PARAMETRESİ

Genel olarak trafik parametresi, kendi içinde gruplara ayrılır:

1. Trafik hızı ve yoğunluğu
2. Trafik düzeni
3. Trafik akışı (Trafik sıkışıkları, tek yönlü yollar, vb.)
4. Sürücü davranışları

Saatte 50 araçtan daha fazla trafik akışının mevcut olduğu durumlarda oluşan ortalama gürültü düzeyleri ( $L_{50}$ ), trafik hızı iki katına çıktığında 3 – 5 dBA artar. Hız, 24 mph'ın üstüne çıktığında bu artış, 4 – 6 dBA olur. Ortalama gürültü düzeyi, araç sayısına bağlı olarak yükselir. Trafik yoğunluğu da yüksek gürültü düzeylerine yol açar.

Kentlerde, trafik düzeninin ve işleyişinin büyük önemi vardır. Ağır tır ve kamyonların trafikteki oranı gürültü düzeyini olumsuz etkiler. Ortalama bir kamyonun ürettiği ses düzeyinin, özel otomobilden 10 dBA daha yüksek olduğu gözönüne alınırsa, yarattığı olumsuz etki şaşırtıcı değildir. Diğer taraftan, ot yollarında, kamyonların ve otomobillerin oluşturduğu gürültü düzeyi farkı öne çıkmaz. Bunun sebebi, yüksek hızdaki otomobillerin yaydığı gürültünün, kamyonlardan daha büyük bir etkisi olmasıdır. Yüksek hız yapılan yollarda, kamyon yoğunluğu genel gürültü düzeyini çok fazla etkilemez. Ancak şehir içi yollarda durum tam tersidir.

Düzensiz trafik (sık durma ve kalkma), gürültü düzeyinde anlık yükselmelere neden olur. Ancak ortalama gürültü düzeyi düşer. Yavaş ve düzenli trafikteki ortalama gürültü düzeyi düşüktür. Ancak yüksek hızlarda seyreden düzenli trafikte gürültü düzeyi artar.

Gürültü trafik hızından etkilendiği gibi, hızdaki değişimlerden ve çeşitlilikten de etkilenir. Bu durum özellikle yol kesişim noktalarında önem kazanır. Araçlar, kırmızı ışığa yaklaştığında yavaşlar ve gürültü azalır. Trafik ışığı yeşil olduğunda araçlar hızlanır ve gürültüde 15 – 20 dBA düzeyinde ani bir artış olur. Hızlanma durumundan sonra, durağan hıza geçildiğinde, gürültü düzeyi 5 dBA azalır.

### 2.3.2 YOL PARAMETRESİ

Trafik gürültü düzeyini etkileyen ikinci parametre yol dur. Yol parametresi kendi içinde alt gruplara ayrılabilir:

1. Yolun tasarımı
2. Yol eğimi ve kavisleri
3. Yol yüzeyinin yapısı
4. Yol genişliği

Yolun eğimi bir arazide, toprak bir set üzerinde, yarık içinde ya da tünel içinde olmasına bağlı olarak oluşan gürültüde farklılıklar gösterir.

Tüneller, gürültü yayılımını engeller. Ancak yapı mız zorluğu ve maliyet faktörü yüzünden seyrektirler.

Dikey duvarlar ya da eğimi setlerle çevrelenmiş oyuklar içindeki yollarda yüksek gürültü azalımı görülür. Ancak yoğun kentleşmenin olduğu bölgelerde, binalar yola yakınsa, yolun oyuk içinde yapılmış olması, etkili gürültü azalımı sağlamayacak ve gürültü, konutları rahatsız edecektir.

Yolun eğimi ve genişliği de gürültü düzeyini etkilemektedir. Yüksek binalarla çevrelenmiş dar bir sokak, gürültü kanyonudur. Bu tip bölgelerdeki gürültü düzeyi, çevresi açık bir bölgedeki gürültü düzeyinden 6 dBA daha yüksek olabilir. Ayrıca, yüksek eğimi bir sokaktaki gürültü düzeyi de, araçların tırtıranırken çıkardığı gürültüyü de içerecek ve rahatsız edici olacaktır.

### 2.3.3. ÇEVRESEL PARAMETRELER

Trafik akışının olduğu yola yakın gürültü alıcıları söz konusu olduğunda incelenmesi gereken alt gruplar aşağıdaki gibidir:

1. Gürültü alıcısı ile yol arasındaki mesafe ve yükseklik farkı
2. Doğal veya yapay gürültü engellerinin bulunması
3. Yol ile alıcı arasındaki yol yüzeyinin özellikleri
4. Yol çevresindeki binaların gürültüyü yansıtması

Gürültü kaynağı ve alıcı arasındaki mesafe arttıkça, alıcı, gürültüdeki ani değişimleri, arka plan gürültü düzeyinden daha fazla algılayacaktır. Alıcı uzaklaştıkça, arka plan gürültü düzeyi algılanacak ve gürültünün içeriğindeki ani değişimler daha az hissedilecektir.

Yol ile alıcı arasındaki mesafe iki katına çıktığında, gürültüdeki ani yüksekliklerin düzeyi 7 – 8 dBA düşer. Ancak, kentsel alanlarda, binalar yola yakındır ve trafik düzensizdir. Bu yüzden gürültünün içeriğindeki ani yükselmeler duyulur ve çok rahatsız edicidir.

Gürültünün alıcı tarafından hangi yükseklikte duyulduğu, kentsel bölgelerde çok önemli bir faktör değildir. Çünkü, alıcı, gürültü kaynağından daha yüksek ve daha uzak noktada bulunmasına karşın, gürültü, çok daha geniş bir alana yayılmaktadır.

Yoldan, belirli bir uzaklıkta, çim zeminle ayrılmış bir binada, ağaçtaki katlar, yukarıdaki katlardan daha az gürültü alacaktır. Bunun nedeni, çim zeminin sağladığı yutuculuktur.

Doğal veya yapay gürültü bariyerleri de gürültü azalımını etkileyen faktörlerdir. Doğal bariyerlere örnek olarak ağaçlar gösterilebilir. Ancak yeterli gürültü azalımı yoğun ve derin bitkilendirmeyle sağlanabilir. Yapay gürültü bariyerleri söz konusu olduğunda, bariyerlerin ne ölçüde gürültü azalımı sağladıkları önem kazanır. Gürültü azalımı, bariyerin kaynağa olan mesafesine, gürültünün duyulduğu yüksekliğe göre değişir. Bariyerler, genellikle ve şehir dışı otoyollarda etkili sonuç verir. Eğer sıradan sokaklarda inşa edilirlse, estetik, güvenlik ve maliyet gibi sorunlar oluşur. Çünkü yapıların üst katlarının gürültüden etkilenmesi için, bariyerlerin çok yüksek yapılması gerekir.

#### 2.3.4 İKİLİ MPARAMETRESİ

İkili mparametresi, iki alt grupta incelenebilir:

1. Kar, yağmur ya da güneşli iklimi olması
2. Rüzgar yönü ve hızı

Yağmur, trafik aracının yaydığı gürültüyü 10 dBA kadar yüksek düzeyde arttırabilir. Ancak yağmur yağdığı anda, trafik hızı düşer. Bu sebeple, Paris'te ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sonucunda, ses düzeyinin, yağmur yağdığı anda çok fazla değişmediği saptanmıştır.

Kışların yoğun geçtiği bölgelerde kullanılan yol tutuşu fazla tekerlekler, yağsız havalarda kuru yollarda kullanıldığında, özellikle yüksek frekanslarda oluşan gürültüyü arttırır.

Kentlerde, rüzgar ve sıcaklık sokaklarda gürültünün yayılmasında çok az bir etkiye sahiptir. [28]

## BÖLÜM3. KARAYOLU GÜRÜLTÜSÜNÜN İNSAN ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

### 3.1. GİRİŞ

Günlük yaşamda, seslerin varlığı, insanların kendilerini iyi hissetmesi için gereklidir. Konuşma, müzik, doğadaki sesler, yaşamımız için vazgeçilmezdir. Ancak, istenmeyen ses olarak tanımlanan gürültü, insan sağlığını olumsuz olarak etkiler. Günümüzde gürültünün olumsuz etkileri, eskiden olduğu gibi, sadece fabrikalarda uzun süreli gürültüye bağlı işitme kaybı durumlarında incelenmemektedir. Araştırmalar, açık alanlar ve iç mekanlardaki her tip gürültüyü kapsamaktadır. [9]

Karayolu taşıtlarıyla ulaşımın sağlandığı günümüz modern şehirlerinde, birçok insan karayolu gürültüsünden olumsuz etkilenmektedir. 1971’de Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization: WHO)’nın çalışma grubu, gürültünün, insanı yiliğine karşı ana bir tehdit olarak görülmesi gerektiğini bildirmişlerdir. WHO’nun yaptığı araştırmalara göre Avrupa nüfusunun yaklaşık %25’i 65 dBA (LA<sub>eq</sub>(24))’nın üzerinde ulaşım gürültüsüne maruz kalmaktadır. 65 dBA değeriindeki bir ses basınç düzeyinde uyku bölünür ve çeşitli sağlık sorunları ortaya çıkar. Dört Avrupa ülkesi olan Fransa, Almanya, İngiltere ve Hollanda’da, karayolu gürültüsü, toplumun %20-25’ini olumsuz etkilemektedir. [10, 11]

Amerika Birleşik Devletleri’nde, Çevre Koruma Dairesi (The Environmental Protection Agency: EPA)’nin altındaki Gürültü Azaltım ve Kontrol Ofisi (Office of Noise Abatement and Control: ONAC) karayolu trafik gürültüsü konusunda kapsamlı araştırmalar yapmıştır. EPA, karayolu gürültüsünü en başta gelen çevre gürültüsü olarak görmektedir. Şehirlerde, otomobil, kamyonet, otobüs ve motosikletlerin oluşturduğu gürültü, dar sokaklardan ve çok katlı yapılardan oluşan derin kanyonda yankılanarak daha da artmaktadır. 1981’de EPA’nın yapmış olduğu kapsamlı araştırma sonucu, toplumu etkileyen gürültüler, ortalama düzeyler ve etkilenen nüfus oranı ortaya çıkarılmıştır. [10]

Tablo 3. 1: Toplumdaki Gürültü Kaynaklarının Çeşitli Gündüz- Gece Ortalama Ses Düzeylerine (ya da daha yükseğine) Maruz Kalan ABD Nüfusu

(U.S. Environmental Protection Agency, 1981. Noise Effects Handbook)

Her Gürültü Tipi İçin Saptanmış Kişi Sayısı ( Milyon)

| L <sub>dn</sub><br>(dB) | Karayolu | Havayolu | İnşaat (3) | Trenyolu | Endüstri | Toplam |
|-------------------------|----------|----------|------------|----------|----------|--------|
| >80                     | 0.1      | 0.1      | --         | --       | --       | 0.2    |
| >75                     | 1.1      | 0.3      | 0.1        | --       | --       | 1.5    |
| >70                     | 5.7      | 1.3      | 0.6        | 0.8      | --       | 8.1    |
| >65                     | 19.3     | 4.7      | 2.1        | 2.5      | 0.3      | 27.8   |
| >60                     | 46.6     | 11.5     | 7.7        | 3.5      | 1.9      | 63.6   |
| >55                     | 96.8     | 24.5     | 27.5       | 6.0      | 6.9      | 92.4*  |

Yukarıda Tablo 3.1’de L<sub>dn</sub> değerleri, ortalama yıllık dış ortam değerleridir. Farklı gürültü kaynaklarından aynı anda etkilenen belirli bir nüfus söz konusudur. Yani, 96.8 milyon insan, 55 dB’in üstünde karayolu trafiği gürültüsüne maruz kalırken, bu nüfusun bir kısmı, aynı anda havayolu gürültüsüne de maruz kalmaktadır. Şekildeki inşaat gürültüsü, konut alanlarında ve konut dışı alanlarda yapılan ölçümleri kapsamaktadır. [10]

Yukarıda bahsedilen araştırmaların sonuçları, karayolu gürültüsü için ciddiye alınacak bir boyuttadır. Türkiye gibi gelişmekte olan bir ülkede, bu tip araştırma yapılacak olursa, özellikle İstanbul’da bu orana yakın bir değer elde edilebilir. Çünkü, Avrupa ülkeleri kadar yaygın toplu taşıma ağına ve bilinçli tüketim anlayışına sahip olmayan bir ülke olduğumuzdan, her sene, karayolu taşıtları sayısı ve dolayısıyla da gürültü artmaktadır.

Gürültünün insan sağığına olan etkileri birkaç ana başlık altında toplanabilir. Bunlar;

1. Gürültüye bağılı işitme bozukluğu
2. Konuşmanın engellenmesi
3. Gürültünün uyku üzerindeki etkileri
4. Gürültünün kardiyovasküler ve fizyolojik etkileri
5. Gürültünün ruh sağığı üzerindeki etkileri
6. Gürültünün iş performansını üzerindeki etkileri
7. Gürültünün konut alanlarındaki genel davranış ve rahatsızlık üzerindeki etkisi
8. Birleşik gürültü kaynaklarının etkisi
9. Gürültüye karşı hassas olan toplum grupları

olarak gruplanabilir.

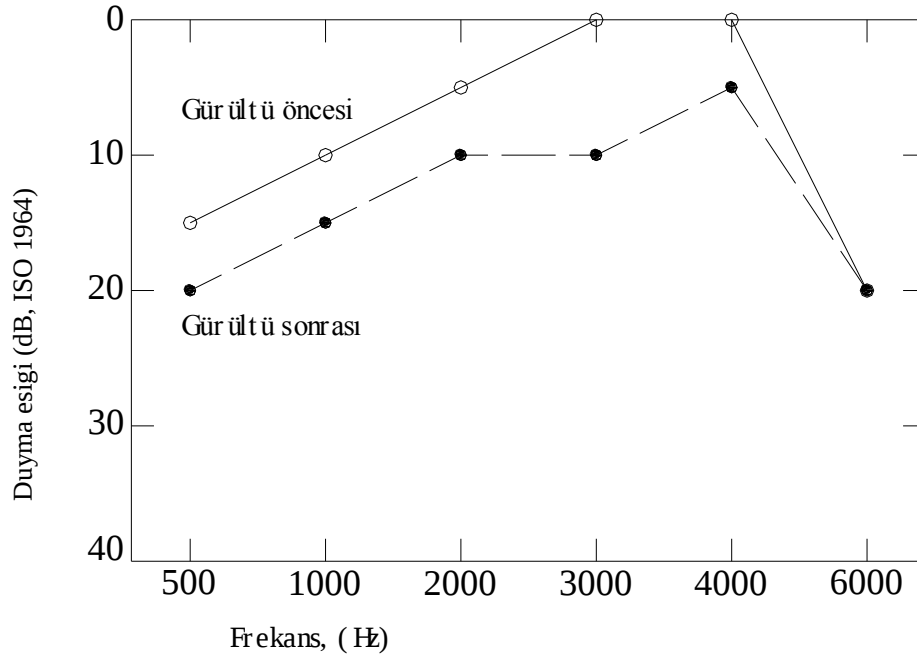
Bu bölümde, bu başlıklar altında, genel olarak gürültünün ve karayolu gürültüsünün olumsuz etkileri incelenecektir.

### **3.2 GÜRÜLTÜYE BAĞLI İŞİTME BOZUKLUĞU**

İşitme bozukluğu, duyma eşliğindeki yükselme olarak tanımlanır. Duyma eşliği, özel bir işitme ölçen aletle saptanır. Bir kişinin işitmesinde bozukluk olması, o kişinin iş performansını ve günlük hayatını olumsuz yönde etkiler. Dünya çapında duruma bakıldığında, gürültüden kaynaklanan işitme kaybı, geri dönüşü mümkün olmayan iş kazalarından birisidir. Gelişmekte olan ülkelerde, sadece işyeri gürültüsü değil, çevre gürültüleri de işitme bozukluğu için artan risk oluşturmaktadır. 1995'te düzenlenen Dünya Sağlık Kongresi'nde, dünyada 120 milyon insanın işitme bozukluğu taşıdığı belirtilmiştir.

Gürültüye bağılı işitme bozukluğu dışında, işitmenin bozulması, çeşitli hastalıklara, endüstriyel kimyasallara, ototoksik ilaçlara, baş darbelerine, kazalara ve kalıtıma bağılı olabilir. Ayrıca insanlarda, yaşın ilerlemesiyle ortaya çıkan ve “Presbycusis” olarak adlandırılan, yaşa bağılı işitme azalması da olabilir. [9]

Eğer, kişi, şiddetli gürültü seviyelerine maruz kalırsa, iç kulakta bulunan salyangozun sınır hücreleri, geçici veya kalıcı olarak hasara uğrar. Geçici hasarda, işitme eşiği, gürültü sebebiyle geçici olarak değişir. Daha sessiz bir çevrede geçecek olan yeterli iyileşme sürecinden sonra, işitme eşiği eski durumuna döner. Bu duruma Gürültüye Bağlı Geçici İşitme Eşiği Değişimi (Noise Induced Temporary Threshold Shift: N TTS) denir. Geçici gürültüye maruz kalma öncesi ve sonrası işitme eşiğinin frekansa bağlı durumu, gürültünün tipi ve şiddetine göre değişir. Aşağıda Şekil 3.1’de, 1 saatlik uçuş boyunca 91 dB’lik gürültüye maruz kalan pilotun sağ kulağının duyma eşiği değişimi frekansa bağlı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. 1: Cessna 172 uçağında 91 dB’lik gürültüye maruz kalan pilotun sağ kulağındaki duyma eşiği kaybı (Smith, B J., Acoustics)

İşitme kaybının oluştuğu durumlarda, kişi, tekrar eden bir şekilde gürültüye maruz kalır ve duyma eşiği derece derece kayar. Örneğin, fabrikada çalışan bir işçi, yüksek düzeydeki gürültü seviyelerine senelerce maruz kalırsa, hasar kalıcı olur. Bu duruma, gürültüye bağlı iç kulak zedelenmesi denir. Bir görüşe göre “Sınır hücrelerinin metabolizma hızı, gürültüye maruz kaldığında artar ve hücreler bu hızın verdiği yorgunluk sonucu ölürler”. Geçici olarak duyma eşiğinin kayması, gürültüye maruz kalma devam ederse kalıcı hale gelebilir.

Gürültüye Bağlı Kalıcı İşitme Eşiği Değişimi (Noise Induced Permanent Threshold Shift: NPTS), çok yüksek düzeydeki gürültüye ani bir şekilde maruz kalma durumunda oluşur. Gürültü düzeyi o kadar fazladır ki, kişinin duyma eşiği kalıcı olarak kayar. Bu rahatsızlığa akustik travma denir. Bu durumda, iç kulaktaki hasar, sinir hücrelerinin ses iletimini aksamasından ölümüne yol açacak kadar büyük olabilir. [12]

ISO 1999 Standartı, gürültüye bağlı işitme bozukluğunu hesaplamak için ortak bir metot önermektedir. Bütün nüfuslarda, her çeşit gürültü tipine (devamlı, aralıklı, ani) bu metot önerilmektedir. Gürültüye maruz kalma derecesi,  $LA_{eq}(8)$  ölçümüyle belirlenir. Standartta işitme kaybı,  $LA_{eq}(8)$  ve 500 – 6000 Hz frekans aralığına bağlı olarak, 40 seneye kadar maruz kalma sınırları içinde verilir. Gürültüye bağlı işitme bozukluğu genellikle 3000 – 6000 Hz frekans aralığında yüksek derecelere ulaşır. 4000 Hz frekansta ise en yüksek değerdedir.  $LA_{eq}(8)$  değerinde ya da gürültüye maruz kalma zamanında artış olursa, 2000 Hz frekansındaki işitme bozukluğu da artacaktır. [9]

### 3.3. KONUSMA NİN ENGELLENMESİ

Gürültünün konuşarak iletişimi olan olumsuz etkisi, kişisel yeteneksizlikle, elverişsiz durumların ortaya çıkmasıyla ve davranış bozukluğunun oluşmasıyla sonuçlanır. Konsantrasyon bozukluğu, kişinin kendine olan güveninin azalması, yanlış anlaşılma, rahatsız olma, iş performansının azalması, insan ilişkilerinin bozulması ve stres gibi olumsuz sonuçlar, bilimsel olarak literatürde yerini almıştır. Gürültünün iletişim üzerindeki olumsuz etkilerinden en fazla etkilenen toplum kesimi, işitme engelli bireyler, yaşlılar, dil ve okuma eğitimi alan çocuklar ve konuşulan dile yabancı olan bireylerdir. Hassas toplum kesiminin bir ülkedeki oranı azımsanmayacak kadar çoktur.

Konuşmanın akustik enerjisinin büyük bölümü, 100 – 6000 Hz frekans aralığındadır. En önemli enerji dilimi ise 300 – 3000 Hz arasındadır. Konuşmanın engellenmesi, temel olarak konuşmayla aynı anda, bölücü olarak gürültünün araya girmesidir. Bunun sonucu olarak konuşma anlaşılamaz, gürültü tarafından maskelenir. Gürültü düzeyi arttıkça, en önemli konuşma frekanslarında sahip olduğu enerji artacaktır ve dinleyicinin konuşmayı anlama yüzdesi düşecektir. Çevre gürültüsü, kapı zili, telefon zili, saat alarmı, yangın alarmı, uyarıcı sinyaller gibi günlük yaşamda önemli olan akustik sinyalleri de engeller.

Gürültünün ses basınç düzeyi arttıkça, insanlar anlaşılabilirlik amacıyla seslerini yükseltirler. Bu durum konuşmacı üzerinde ek bir stres yaratır. Örneğin, sessiz ortamlarda, 1 metre mesafede, konuşma düzeyi 45 – 50 dBA civarındadır. Ancak bağırırken 30 dBA daha yüksektir.

Konuşma düzeyleri, kişilerin cinsiyetine ve ses gücüne bağlı olarak değişir. Buna ek olarak, bina dışı açık alanlardaki ses düzeyleri, mesafenin iki katına çıkmasıyla 6 dB düşer. Günlük koşullardaki konuşmanın anlaşılabilirliği, konuşma düzeyine, konuşma biçimine, konuşmacı – dinleyici mesafesine, ses basınç düzeylerine, araya giren gürültünün özelliklerine ve mekanın özelliklerine (reverberasyon süresi gibi) bağlıdır. Dinleyicinin işitme kapasitesi ve konuya gösterdiği dikkat de, en az konuşmanın anlaşılması kadar önemlidir. Mekanın reverberasyon özellikleri de oldukça önemlidir. Örneğin, 1 saniyeden fazla reverberasyon süresine sahip mekanlarda, konuşmanın anlaşılması zorlaşır. Uzun reverberasyon süresine, yüksek arka plan gürültüsü eklendiğinde konuşmanın anlaşılması çok daha güç olur. Hassas toplum kesimleri için, sessiz ortamlarda, 0.6 saniyenin altındaki reverberasyon süreleri tavsiye edilir. Örneğin, yapılan araştırmalar sonucunda, işitme güçlüğü çeken kişiler için reverberasyon süresi 0.3 – 0.5 saniye arasında alınır.

Nor mal işitme duyusuna sahip dinleyicilerin tam konuşma anlaşılabilirliğinin sağlanması için konuşma düzeyi ile ortamgürültüsü arasında 15 – 18 dBA fark olması gerekmektedir. Küçük mekanlardaki gürültü düzeyi 35 dBA'ı geçtiğinde konuşmanın anlaşılması zorlaşmaktadır. [9]

Çeşitli gürültü seviyelerinde olması gereken konuşma düzeyinin sağlanması ve iletişimin sağlanması için çeşitli metotlar vardır. Bu metotlardan en çok kabul göreni ve sık kullanılan, 1947'de French and Steinberg tarafından geliştirilen Anlaşılma İndeksi (Articulation Index: AI)'dir. Bu metot, 20 frekans bandında, gürültü ve konuşmanın spektrum düzeylerinin ölçülmesini veya oranlanmasını içerir. Günümüzde oldukça kapsamlı hale getirilen bu metot, 113 oktav bandı için yapılmaktadır ve reverberasyon süresi, çeşitli vokal güçleri, farklı işitme dereceleri gibi faktörlere bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Berane tarafından 1954'de geliştirilen Konuşma Girişimi Düzeyi (Speech Interference Level: SIL), çeşitli vokal güçlerine bağlı olarak konuşmanın anlaşılabilirliği mesafeleri gösterir. Pratik ve hızlı bir metottur. Bölüm 4'te, alt Bölüm 4.3.3.1'de detaylı olarak açıklanmış bu kriterde, 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz frekanslarındaki ses basınç düzeyleri ölçülür. Referans grafiğe bakılarak olması gereken mesafe belirlenir. 1983'de

Webster tarafından, özgün hali basit olan grafik geliştirilmiştir. Konuşma ses düzeyi çeşitleri artırılmış ve oda reverberasyon süreleri öngörülmüştür. 1990'da Lazarus, AI ve SIL'a eklemeler yapmış ve ortak olarak geliştirmiştir. Oluşan bu yeni kriterde, mekanlardaki arka plan gürültü düzeyleri yeniden önerilmiştir. Mekanın işlevi, iletişim tipi, iletişim mesafesi, ses gücü, konuşma anlaşılabilirliğinin kalitesi, iletişim zorluğu, dinleyicinin işitme duyarlılığı ve işitme koruyucularının kullanımı gibi parametreleri içermektedir.

Çeşitli koşullarda oluşan konuşma iletişiminin belirlenmesinde kullanılan bir diğer popüler yöntem de Konuşma İletim İndeksi (Speech Transmission Index: STI)'dir. Hollandalı bir araştırma grubu (Houtgast, 1980; Houtgast and Steeneken, 1983) tarafından geliştirilmiş bu yöntemde, konuşma düzeyleri ve mesafeye ek olarak, mekan hacmi ve reverberasyon süresi de dikkate alınır. 1987'de geliştirilen Hızlı Ses İletim İndeksi (Rapid Speech Transmission Index: RASTI), STI'nin mevcut alandaki kullanımı için basitleştirilmiş halidir. Aletle kullanımı ve ölçümü, uluslararası standartlarda (IEC, 1987) yer almaktadır. [10]

### **3.4 GÜRÜLTÜNÜN UYKU ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Bölünmüş kesintisiz bir uyku, sağlıklı insanların iyi bir fizyolojik ve ruhsal yapıya sahip olmaları için gereklidir. Uyku bölünmesi ise, çevre gürültülerinin olumsuz etkilerinin başında gelir.

Gürültülü ortamlardaki uyku bölünmesi şikayetlerinin % 80-90'ı, dışarıdaki gürültülerden farklı nedenlere bağlıdır: Komşuların yaptığı gürültüler, hastalık ısı, sağlık nedenleri gibi.

Gürültüden kaynaklanan uyku bölünmesinin araştırılması genellikle laboratuvar koşullarında sağlanan kontrollü çevrelerde yapılmaktadır. İnsanların normal yaşam alanlarındaki araştırmalar seyrek olup, havaalanı gürültüsünün incelenmesi için tercih edilmektedir. [9]

Laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen fizyolojik ölçümler uykunun dört bölümden oluştuğunu göstermiştir. Bu bölümler, uyuklamaıyla başlayıp derin uykuya kadar gider. EEG (Electroencephalogram) adı verilen alet, beyin dalgaları ölçümlerini yapar ve uykunun bölümlerini aşağıdaki şekilde belirler: [12]

Bölüm 1: Uyuklama (alfa dalgaları)

Bölüm 2: Hızlı göz hareketi (Rapid Eye Movement: REM) (beta dalgaları)

Bölüm 3 ve 4: Derin uyku (delta dalgaları)

Gürültüye bağlı uyku bölünmesi nin ana etkileri ise, uykuya dalma zorluk çekme, uyku bölümlerinde veya derinliğinde değişlik (zellikle REM uykusunda düşüş) olmasıdır. Diğer fizyolojik etkiler ise, kan basıncında, kalp atışında, terlemede ve vücut hareketlerinde artıştır.

Gece oluşan gürültünün ikincil etkilerinden de szdelebilir. Gecenin ardından gelen gündüz periyodunda, birey uyanıkken bazı olumsuz etkiler gözlenir. Bunlar, uyku almanın kalitesinde düşüş, yorgunluk hissinde artış, bunalımlı hal ve davranışlar, düşük performanstır. Aynı zamanda, gürültüye maruz kalan insanlarda, sakinleştirici ve uyku ilacı alımında artış grlmştir. Uyku bozukluğunun davranışa olan diğer etkileri ise kapalı camlı yatak odalarında uyunmak ve gürültüyü işitmeyi engelleyen kişisel araçlar kullanmaktır.

Japonya’da bir anket düzenlenerek, gece oluşan gürültülerin uyku kalitesine olan etkisi ölçülmeye çalışılmıştır. Bu araştırma 20-80 yaşları arasında 3600 bayana uygulanmıştır. Kişiler, farklı gürültülere sahip sekiz adet karayolu kenarı bölgeden seilmıştir. Sonuçlar göstermiştir ki, alınan uykunun kalitesi, gece oluşan trafik hacmi ile ilişkilidir. Ankette uyku kalitesini belirleyen parametreler ise, uykuya dalmadaki güçlük, uyku sırasında uyanma, çok erken kalkma, uykusuzluk hissetmedir.

İyi bir uyku için imekandaki ses basınç düzeyleri, Maksimum Ses Basınç Düzeyi (Maximum Sound Level:  $LA_{max}$ ) değeri olarak (gecede 10-15 kez) 45 dB’i geçmemelidir. Araştırmalar, Ses Oşum Düzeyi (Sound Exposure Level: SEL) değerlerinin 55-60 dBA’yı bulduğu gürültü olaylarında, uyku bölünmelerinin arttığını göstermiştir. Havaalanı gürültüsü gibi aralıklı gürültülerde, 10-30 saniye gibi etkili sreye sahip 55-60 dBA değerinde bir SEL,  $LA_{max}$  değeri olarak yaklaşık 45 dB’dir. 8 saatlik gece periyodunda, 10 – 15 kez tekrar eden bu olayların  $LA_{eq}(8)$  değeri ise 20-25 dB’dir. Bu değer, sürekli gece gürültüsü  $LA_{eq}(8)$  saat değeri olan 30 dB’in altında olmasına rağmen, aralıklı gürültülü olduğu için kritik değerdir. Bu açıdan, aralıklı

gürültülerin sözkonusu olduğu çevrelerde, gece gürültüsünün limit değerleri iyi belirlenmelidir. Kritik çevrelerde, inceleme iyi yapılmalıdır. Bu kritik çevreler:

1. Düşük arkaplan ses seviyesine sahip çevreler: Örneğin, sessiz olan şehir dışı oturma alanlarında, gece trafiği, standart değerlerin altında olsa, rahatsız edicidir.
2. Gürültü ve titreşimin aynı anda olduğu çevreler: Örneğin, tren yolu gürültüsü ve karayolunda geçen ağır taşıtlar.
3. Düşük frekans içeriğine sahip gürültü kaynakları: Örneğin, ses basınç düzeyi 30 dBA'nın altında bile olsa, düşük frekans içeriği sebebiyle rahatsız edicidir.

Sonuçta, sürekli gürültüler için, iç mekandaki eşzamanlı ses basınç düzeyi değeri 30 dBA'yı geçmemelidir. Eğer gürültü sürekli değilse,  $LA_{max}$  değeri 45 dB ve altında olmalıdır. Gürültüye hassas insanlar için daha düşük bir limit tercih edilmelidir. Gürültü kaynaklı uyku bozulması için, eşzamanlı ses basınç düzeyi değerleri ve oluşan gürültülerin sayısı ve düzeyi belirlenmeli ve önlenmelidir. Uykuya dalma faktörü önemli olduğu için, yapılacak düzenlemeler, gecenin ilk saatlerinde yoğun olmalıdır. [9]

### 3.5 GÜRÜLTÜNÜN KARDİ YOVASKÜLER VE FİZYOLOJİK ETKİLERİ

Gürültü, yüksek tansiyondan akıl hastalıklarına kadar birçok sağlık problemini artırarak etkileyen faktörlerden biridir. Bu sonuç, laboratuvar ve alan araştırmalarının bulgularından elde edildiği gibi, seyrek olarak da toplumsal araştırmaların sonucuna dayanılarak elde edilmiştir. [9]

Mevcut bilginin toplanması, araya giren sayısız değişkenin kontrolü açısından güçtür. Bu değişkenler yaş, seçim mevcut sağlık durumu, beslenme, sigara alışkanlığı, alkol kullanımı, sosyoekonomik statü, çevresel ve sosyal stres etkenleridir. Bunlara ek olarak, gürültünün akut etkilerini bulmak, bulguların kesişiminden dolayı zorlaşır. Bu tip güçlükler, gürültü kontrolü ve kriterlerini saptamada tartışmalar yaratır.

Gürültü, kesin olmayan biyolojik bir stres etkenidir. Vücutta “kavga ya da uçuş” tepkisi yaratır. Bu durum gürültünün beyin tarafından algılanması sonucu ortaya çıkar. Sinir uyarımları, beyindeki dolaşım sisteminden kortekse ve daha sonra merkezi sinir sistemine geçer ve vücutta çeşitli tepkiler oluşur. Gürültü algılamayı, hareketi ve bilişimi etkiler. Bunların dışında, salgılamayı, kalp dolaşımını, sindirim sistemini,

otonomik sinir sistemindeki değişimler dolayısıyla etkiler. Bu etkilerin kesin kanıtını bulmak kolay olamayla beraber, sayısız araştırmalara rağmen, emin olarak çok az şey söylenmektedir. [10]

Genellikle gürültünün fizyolojik etkileri üzerine yapılan çalışmalarda, kalp dolaşım üzerinde oluşan etki başı çekmektedir. Birçok endüstriyel ve toplumsal gürültü çalışması, gürültünün kalp dolaşım (kardiyovasküler) bozukluğu için risk oluşturan bir faktör olup olmadığı üzerine yapılmıştır. Bu çalışmalar genellikle endüstriyel gürültü üzerine yoğunlaşmıştır. Sayısı çok olmayan çevresel gürültü çalışmaları sonucu ise, havaalanı ve gürültülü sokaklarda yaşayan toplumlarda, yüksek tansiyon riskinin arttığı saptanmıştır. Son kanıtlar ise, uzun süreli çevre gürültüsü ile yüksek tansiyon arasında zayıf bir ilişki olduğunu göstermiştir.

Son yıllarda, karayolu gürültüsünün ischaemic kalp hastalığı üzerinde risk oluşturduğu yönünde bulgular elde edilmiştir. Gürültü düzeyi  $LA_{eq}(6-22)$  değeri olarak 65-70 dB'e ulaştığı zaman riskte artış görülmüştür. Ancak, araştırmaların yapıldığı ortamlardaki bazı değişkenler (yatak odası pencerelerinin yönü, pencere açma alışkanlığı, maruz kalma süresi) gözönüne alındığında, kalp hastalığı riski artmaktadır. Bu çalışmalar sonucu, ischaemic kalp hastalığı üzerinde etki yapan karayolu gürültüsünün minimum değeri  $LA_{eq}(24)$  olarak 70 dB'dir.

Genel olarak varılan sonuca göre, uzun süre maruz kalınan  $LA_{eq}(24)$  olarak ölçülmüş 65-70 dB değerinde bir karayolu gürültüsünün, olumsuz kardiyovasküler etkileri olacaktır. Ancak henüz kanıtlar sağlam değildir ve yüksek tansiyon için mevcut olan risk, ischaemic kalp rahatsızlığı riskinden azdır. Riskin az olması, tehlikeyi azaltmamaktadır. Çünkü bugün gürültüye maruz kalan geniş bir toplum kesimi, gelecekte de aynı gürültüye maruz kalacaktır, dolayısıyla risk faktörü de artacaktır. [9]

Bazı araştırmalar da, sağlık problemlerinin, gürültüden hoşlanmama durumu ile olan ilişkisinin, sadece gürültü ile olan ilişkisinden daha yüksek olduğu sonucunu göstermiştir. Örneğin 1983'de yapılan bir çalışma, gürültüden rahatsız olma ile kardiyovasküler rahatsızlıklar arasında yüksek bir bağlantı bulmuştur. Bu çalışma, mevcut sağlık problemlerinin, çevresel faktörlerle daha fazla artış gösterdiğini de kanıtlamıştır. 1990'larda yapılan bir araştırmada, karayolu ve havayolu trafik gürültüsünün kan basıncını arttığı saptanmıştır. İlginç bir sonuç olarak da, gürültünün kişisel kabulü ile öznel sağlık şikayetleri arasında ilişki saptanmıştır. Bu durumda, gürültünün kişi üzerindeki etkileri, kişinin gürültüyü bireysel olarak nasıl algıladığına bağlıdır, ancak gürültünün şiddetinden bağımsızdır.

Gürültünün insan fizyolojisi üzerindeki diğer olumsuz etkilerini saptamak güçtür. Birtakı araştırmalar, insan cenininin gelişimini olumsuz etkilediğini göstermiş olsa da, sonuçlar tatmin edici değildir. Diğer araştırmalar, düşük kiloda doğum ve erken doğum olasılığını gösterse de, istatistiksel olarak önemi tartışılacağına karar verilmiştir. [9]

Ancak yapılan araştırmalar incelendiğinde varılan sonuç, gürültünün insan fizyolojisine olumsuz etkilerinin olduğudur. Ancak karışık insan yapısı ve beraberinde getirdiği değişkenler sebebiyle, bu etkileri tam anlamıyla somutlaştırmak ve formüle etmek imkansızdır. Kesin kanıt olmadığı sonucuna dayanarak önlem almak ise yanlıştır. Alınacak önlemlerin başında ise, yaşadığımız çevrede etkili bir gürültü kontrolü sağlamak gelir. [9, 10]

### **3.6 GÜRÜLTÜNÜN RUH SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Çevresel gürültüler, insanın ruh sağlığını direkt olarak etkilemez, ancak mevcut ruh hastalıklarını hızlandırdığı ve arttığı gözlenmiştir.

Çevresel gürültülerin ruh sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri çeşitli bulgular içerir. Endişe, duygusal stres, sinir bozuklukları, baş ağrıları, mide bulantısı, asabi yet, cinsel istek azalması, ruh hali değişimleri, sosyal çatışmalarda artış, elde edilen bulgulardır. Daha ciddi bulgular olarak nevroz, psikoz ve histeri sayılabilir.

Geniş ölçekli toplumsal çalışmalar, gürültüye maruz kalmanın, kişinin kendisini iyi hissetme oranı, psikolojik bulgu profili, psikoterapi kilaç kullanımı, uyku ilacı kullanımı gibi faktörlerle ilişkisi olduğunu göstermiştir. Ancak endüstriyel gürültüler ruh sağlığına olan etkileri için elde edilen ikna edilen sonuçlar, çevre gürültüsü için elde edilememiştir.

Karayolu trafik gürültüsü ve ikincil psikiyatrik bozukluklar üzerine 1996'da Stansfeld tarafından yapılan tek uzun süreli çalışma, aradaki ilişkiyi ortaya çıkarmıştır. Ancak artan endişe oranı ile karayolu gürültüsü ilişkisi zayıftır ve doğrusal değildir. Gürültüye karşı olan hassasiyetin ruh sağlığı bozukluklarıyla ilişkisi, gürültünün ilişkisiinden daha kuvvetlidir. Bu sebepten ötürü gürültüye hassas olan toplumsal kesim dikkate alınmalıdır. Çünkü, çocuklar, yaşlılar, ruh hastalığı (özellikle depresyon) olan kişiler gibi hassas kesim gürültünün üstesinden gelemezler.

Bu konudaki çalışmaların yetersiz sonuçlarına rağmen, uyku ilacı ve yatıştırıcı ilaç kullanımının artması, psikiyatrik bulguların saptanması ve akıl hastanelerine yapılan başvuruların artması gibi elde bulunan veriler, çevresel gürültülerin olumsuz etkisini göstermektedir. [9]

### 3.7. GÜRÜLTÜNÜN İŞ PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Gürültü insanın iş performansı ve davranışları üzerinde olumsuz etki yapar. Ancak, zihinsel ve fiziki hareketler ses içermediği için, gürültünün performans üzerindeki etkilerini değerlendirmek kolay değildir. İş çeşitlerinin ve koşullarının çeşitliliği, belirli bir gürültü seviyesini limit olarak belirlemeyi güçleştirir. Gürültünün bu konu üzerindeki etkileri de tartışmalıdır. Çünkü araştırma sonuçları her zaman tahmin edildiği gibi çıkmamaktadır. Bazen gürültü performansı arttırmakta, bazen ise, gürültülü ve sessiz ortamlarda ölçülen performans değerleri arasında fark olmaktadır. İnsan yapısının karmaşık yapısından ötürü, araya giren değişkenler artmakta ve bu da, kesin sonuçlar elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Ancak bu koşullara rağmen, özellikle son yıllarda bu konuda yapılan araştırmalar genişlemiştir. [10]

Bu konuda yapılan birkaç alan araştırması, gürültünün iş hatalarına ve kazalarına yol açtığını göstermiştir. Ancak etkiler, gürültünün tipine ve yapılan işe bağlıdır. Laboratuvar ve işyerindeki çalışmalar, gürültünün dikkat dağıtan uyarıcı bir unsur olduğunu ortaya koymuştur. Kısa süreçte, gürültüden kaynaklanan uyarıcılık basit işlerdeki performansı artırır. Ancak karmaşık işlerdeki kavrama performansı oldukça kötüleşir. Kavrayış üzerindeki etkiler içinde, en çok, okuma, dikkat odaklama, problem çözme ve hafıza gürültüden etkilenir. Genel olarak gürültü yapılan işin miktarını etkilemez, ancak işin doğruluğunu etkiler. [9]

Ses düzeyi, performans etkilerini saptamakta kullanılan parametrelerin en önemlilerindendir. Gürültü düzeyi nters etkileri, yapılan işin tipine göre değişir. Basit işler, 115 dB kadar yüksek gürültü düzeyinde bile etkilenmeden yapılabilir. Karmaşık işler ise çok daha düşük gürültü düzeylerinde kesintiye uğrar. Seri tepkili işlerde sürekli gürültüden etkilenme, C-ölçümlü gürültü düzeyi olarak 90 dB'de başlar. Aralıklı gürültüler için etkilenme ise, C-ölçümlü gürültü düzeyi olan 80 dB'de başlar.

Frekans ve zaman a ait karakteristikler de önemli rol oynar. Yüksek frekanslı sesler, düşük frekanslı seslerden daha fazla işi aksatır. Aralıklı gürültüler de, aynı düzeye sahip sürekli gürültülerden daha fazla ters etki yaratır. Aralıklı gürültüler de kendi içinde farklıdır. Periyodik olmayan aralıklı gürültüler, periyodik olanlardan daha rahatsız edici dir ve ani gürültünün etkileri en fazla olabilir. Ancak yine söylenebilir ki, yukarıda bahsedilen etkiler, işin tipine ve diğer faktörlere bağılı olarak değışkenlik gösterebilir. [10]

### **3.8 KARAYOLU GÜRÜLTÜSÜNÜN KONUT ALANLARINDAKİ GENEL DAVRANIŞ VE RAHATSIZLIK ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

Gürültü rahatsızlığı küresel bir olaydır. Rahatsızlık “ Bireyi ya da grubu ters yönde etkileyeceğine inanılan bir olayla ya da koşulla ilişkili memnuniyetsizlik hissi” olarak tanımlanabilir. Ancak, insanlar gürültüye maruz kaldıklarında, rahatsızlığa ek olarak bazı olumsuz duygular hissederler. Bunlar, kızgınlık, hayal kırıklığı, hoşnutsuzluk, depresyon gibi duygular olabilir. [9]

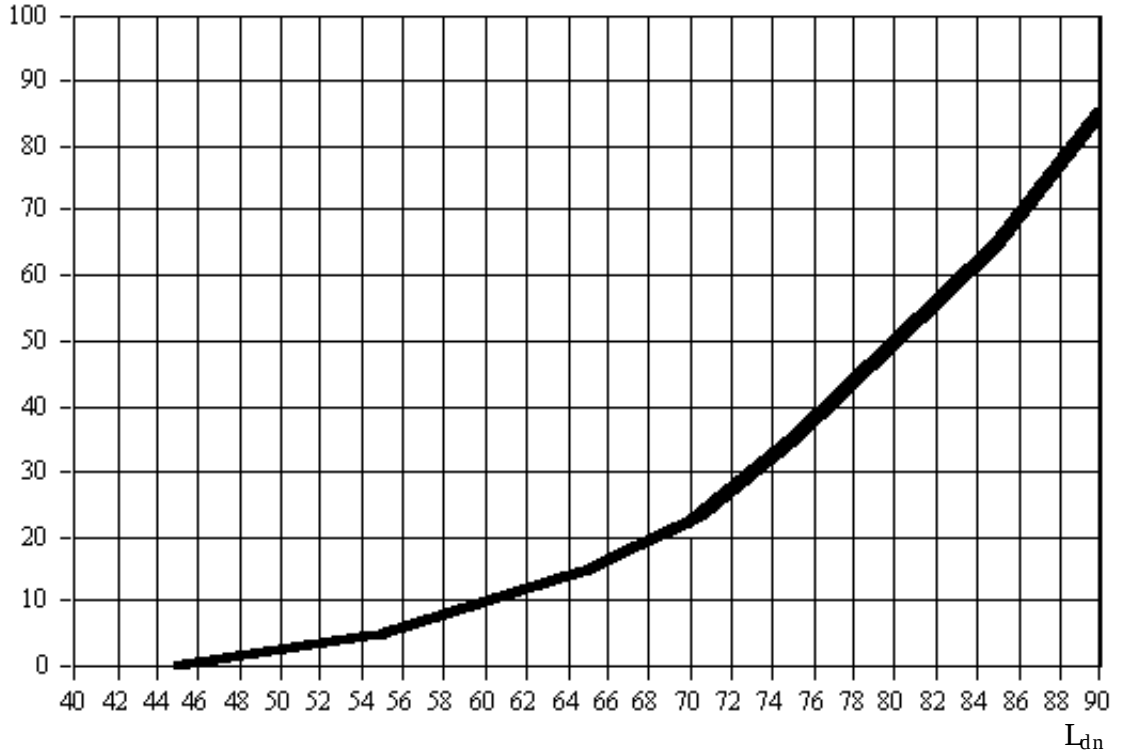
Rahatsızlığın neden oluştuğı ve dereceleri çeşitli faktörlere bağılıdır. Bunlar: [12]

1. Gürültünün karakteristiğı: Yoğunluğu, frekans spektrumu, zaman aralığı
2. Gürültüden kaynaklanan kesintiler: Konsantrasyon bozulması, TV izlemenin zorlaşması, vb.
3. Gürültüye karşı bireysel hassasiyet: Bireylerin gürültüye karşı hassasiyeti aynı değildir.
4. Gürültü kaynağına olan kişisel tavır: Çalan müziğin bize mi, başkalarına mı ait olduğu oldukça fark yaratır.
5. Gürültünün azaltılmasında başvurulacak yetkili ve etkin bir kurum olup olmadığı.

Gürültü konut alanlarında, rahatsızlığın da beraberinde getirdiği sosyal ve davranışsal etkiler oluşturur. Sosyal ve davranışsal etkiler karmaşık ve dolaylıdır. Bu etkiler, günlük davranış biçimini (pencereleri kapatmak, balkonları kullanmamak, televizyon ve radyonun sesini açmak, şikayet dilekçesi yazmak, gerekli makamlara şikayet etmek), sosyal davranışta olumsuz etkileri (saldırganlık, düşmanlık, yalnızlık), sosyal göstergelerdeki olumsuz etkileri (konut değiştirmek, hastane başvuruları, ilaç tüketimi, kaza oranı) kapsar.

Kriterin ve toplum politikasının belirlenmesi amacıyla, 1978’de Schultz, havayolu, karayolu ve trenyolu gürültülerinden oluşan rahatsızlık ile ilgili yapılmış olan birçok çalışmayı incelemiştir. Bu çalışmanın sonucuna göre ulaşım gürültülerinin hepsi aynı kabul edilmiştir. Schultz eğrisi, gürültü kaynağından bağımsızdır. Gürültüden yüksek derecede rahatsız olan nüfusun yüzdesi, gündüz-gece sürekli eşdeğer ses düzeyi ne ( $L_{dn}$ ) bağlı olarak değişir. Şekil 3.2’de Schultz Eğrisi gösterilmiştir. Gürültünün üç tipinde de, yüksek rahatsızlık duyan nüfus yüzdesi, 42 dBA’ dan başlayarak artmaya başlar. Orta derecede rahatsız olanların yüzdesi ise 37 dBA’ dan başlayarak artar. [9]

Yüksek derecede  
rahatsız olanların  
yüzdesi



Şekil 3.2 Schultz Eğrisi (<http://www.noradiation.org/ArticleDetail.html?ID=55>)

1991’de Fiddell, Schultz’un kullandığı orijinal araştırmaları tekrar analiz ederek, bunlara yeni toplumsal anket sonuçlarını eklemiş ve yeni bir eğri oluşturmuştur. Sonuçta ortaya çıkan eğri, Schultz eğrisiyle karşılaştırıldığında, 51 dBA-72 dBA arasında daha fazla rahatsızlık oranı, 76 dBA düzeyinin üstünde daha az rahatsızlık oranı göstermektedir. Genel olarak iki eğri birbirine yakındır. Bu sonuç da, son yıllarda yapılan çalışmaların, gürültüden doğan rahatsızlığın tahmini ne yenilik getirmediğini göstermektedir. Ancak son yıllarda yapılan çalışmaların sonuçları, gürültü kaynaklarının ayrılarak analiz edilmesi ve rahatsızlığın bu şekilde belirlenmesinde olumlu olmuştur. Schultz eğrisi, uluslararası gürültü yasalarında yer etmiştir ama tartışmalıdır. Davranışsal verilerin kategorize edilmesi (yüksek, orta, az derecede rahatsızlık gibi), ölçeklendirilmesi, rahatsızlık dağılımının analiz edilmesi, Schultz eğrisinin, araştırmacılar tarafından eleştirilen yönleridir. Ayrıca, Schultz eğrisi, aşırı uç olan yüksek derecede rahatsız olma durumunu baz olarak almış ve sabit bir gürültüye bağlı rahatsızlık eşliği varsaymıştır. Bütün bu sebeplerden ötürü, Schultz eğrisi ve benzeri çalışmalara alternatif olabilecek yeni toplumsal rahatsızlık ölçeri bulunmasına çalışılmaktadır. [10]

Toplumda, gürültüden kaynaklanan rahatsızlık daha önce yukarıda belirtildiği gibi, sadece gürültünün akustik karakterine bağlı değildir. Sosyal ve ekonomik faktörler de rahatsızlık derecesini etkiler. Gürültü kaynağı olan şahsa ya da gruba karşı duyulan korku, gürültünün azaltılmasında yetkili olan kuruma duyulan güven, bireysel gürültü hassasiyeti, bireyin tek başına gürültüye karşı koyabilme gücü hissedip hissetmemesi gibi faktörler de etkilidir. Örneğin gürültünün, ekonomik olarak güçlü bir kesimden gelmesi, bireyin tavırını ve duyulan rahatsızlığı etkileyebilir. Bu faktörler dışında, yaş, cinsiyet ve bireyin sosyoekonomik durumu da etkilidir. [9]

Karayolu gürültüsünün oluşturduğu rahatsızlık, topografik koşullara, meteorolojik faktörlere ve bölgeler arası farklara bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. 1998’de Avusturya Alp’lerinden geçen bir karayolunda ölçümler yapılmış ve doz-tepki incelemesi yapılmıştır. Araştırma sonuçları, gürültüden kaynaklanan rahatsızlığın, yukarıdaki faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini kanıtlamıştır.

Karayolu gürültüsünden kaynaklanan rahatsızlığı azaltma yöntemlerinden biri olan gürültü bariyerlerinin, konut kesimlerinde duyulan rahatsızlığı umulandan düşük seviyede azalttığı da son yılların tartışma konusudur. [9]

### 3.9. BİRLEŞİK GÜRÜLTÜ KAYNAKLARININ ETKİSİ

Çevrede oluşan birçok gürültü, çeşitli ses kaynaklarının birleşiminden oluşur. Dolayısıyla, gürültünün insan üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiler, tek bir gürültüye kaynağına değil, birleşik gürültüye bağlıdır.

İşitme bozukluğu ele alındığında, birleşik gürültünün etkilerini saptamak için  $LA_{eq}$ , (24) ölçümü yeterli olmaktadır. Ancak, daha önce bahsedilmiş olan olumsuz sağlık etkileri için bu yöntem yeterli değildir. Konuşma engeli ve uyku kesintisi gibi rahatsızlıklar, belirli gürültü tiplerine bağlanabilir. Belirli bir gürültü, diğer gürültülerden baskınsa, etkinin şiddeti, baskın olan gürültünün gözönüne alınmasıyla azaltılabilir. Ancak, yasalar söz konusu olduğunda, her bir gürültünün ters etkisi açıklanmalıdır. Çünkü, birleşik gürültünün sorumluluğu, birçok kirletici tarafından yasal çerçevelerde paylaşılabacaktır.

Düşük frekanslı gürültülerin olumsuz etkisi üzerine yapılan çalışmalar, bu konuda duyulan endişenin haklı olduğunu göstermektedir. Birçok endüstriyel kaynak sürekli düşük frekanslı gürültü yayar. Büyük havayolu araçları, ağır karayolu araçları ve tren yolu trafiği ise aralıklı düşük frekanslı gürültü yayar. Düşük frekanslı gürültünün, titreşimi ve tıkrıd gibi ikincil etkileri de vardır. Birleşik gürültünün içeriğindeki düşük frekans yoğunluğunun sağlık üzerinde oluşturduğu olumsuz etki, genel olarak çevre gürültülerinin etkisinden daha yüksektir. Bu nedenle, çevre gürültülerinin ölçümlerinde, gürültü içeriğindeki düşük frekansın yoğunluğu bulunmalıdır. A ölçümü, ses içeriğindeki düşük frekans gerçek değerinden az olarak değerlendirildiğinden, A ölçümü ses basınç düzeyine ek olarak C ölçümü ses basınç düzeyi de ölçümlenmelidir.

Konut bölgelerindeki ağır gürültü kirliliği, sağlık üzerindeki olumsuz etkilerin birleşimine neden olur. Örneğin, kalp rahatsızlığı, işte ve evde maruz kalınan konuşma engeli, rahatsızlık, uyku bozukluğu gibi etkilerin çeşitli kombinasyonları, bireylerde görülebilir. Bu sebepten ötürü, 24 saati kapsayan detaylı bir gürültü analizi yapılmalıdır. [9]

### 3.10. GÜRÜLTÜYE KARŞI HASSAS OLAN TOPLUM GRUPLARI

Gürültünün insan üzerindeki etkileri araştırılırken, normal veya orta nüfus gözönüne alınır. Anket ve sosyal araştırmalarda seçilen bireyler, genellikle yetişkindir ve genel toplumu temsil eder. Ancak, gürültüye karşı hassas bir toplum kesimi, her nüfusta mevcuttur. Bu kesim gürültüyle başa çıkmada normal toplumlardan daha zayıftır. Hassas grubu oluşturan kesim kişisel yeteneği az olan insanları (hasta, yaşlı ya da bunalımlı kişiler), belirli hastalığı taşıyan insanları, yoğun konsantrasyon gerektiren işlerde çalışan insanları, görme ve işitme engelli insanları, ceninleri, bebekleri ve küçük çocukları, yaşlı insanları kapsamaktadır. Her toplumda belirli bir yüzdede bulunan bu nüfus grubu, gürültünün olumsuz etkilerinden daha fazla etkilenmektedir.

İşitme bozukluğu taşıyan kişiler, konuşma anlaşılabilirliği açısından, gürültüden olumsuz etkilenirler. Yüksek frekans aralığındaki az bir işitme kaybı bile, gürültülü ortamlardaki konuşmanın anlaşılmasını güçleştirir.

Çocukların sağlığı ve gürültü kirliliği üzerine, anaokullarında ve okullarda yapılan araştırmalar ve ölçümler, aradaki ilişkiyi kanıtlamıştır. Çocukların okuma ve yazma güçlüğü çekmesi, yoğun gürültülü bölgelerde saptanan olumsuz etkilerin başındadır.

Genel olarak bir nüfusta bulunan gürültüye hassas toplum kesiminin, yönetmelikler ve kanunlar hazırlanırken dikkate alınması gerekir. Yönetmeliklerin içeriğinde, olumsuz etkiler çevreye bağlı olarak sınıflandırılmalıdır. [9]

## **BÖLÜM 4. KARAYOLU GÜRÜLTÜSÜNÜN ULUSLARARASI AÇI DAN DEĞERLENDİRİLMESİ VE BUNUNLA İLGİLİ BİNA İÇİNDE VE DIŞINDA KULLANILAN KRİTERLER**

### **4.1. GİRİŞ**

Gürültü istenmeyen sestir ve insan sağlığına olan olumsuz etkileri yadsınamaz.

Endüstri Devrimi ile ortaya çıkan teknolojik ilerlemeyle ve şehirlerin büyümesiyle gürültü ve sağlığa olan etkileri artmıştır. 60 yıl önce, bugün kullanılan çevre gürültüsü kontrol kriterlerinin ilk adı atılmıştır. Fiziksel olarak ölçülen gürültü değerleriyle, toplumun gürültüye karşı tepkisi arasındaki ilişki belirlenmiş ve belirli bir tolerans içeren, aşılması sakıncalı gürültü değerleri ortaya çıkarılmıştır. Ancak yaptırımlar zayıf kalmıştır.

Günümüzde, yakın zamanlarda yapılan çalışmalarla, gürültü ve gürültüyü ortaya çıkaran parametreler saptanmış ve bu parametrelere (gürültünün tipi, yeri, zamanı, vb.) bağlı olarak bazı kriterler oluşturulmuştur.

Gürültünün tipine göre, mevcut kriterlerden uygun olanları seçilir ve değerlendirme bu yönde yapılır.

Kriterler ve bu kriterlere bağlı olarak oluşturulan yönetmelikler genellikle 3 bölüm halinde ele alınabilir: [1]

1. Bina içi sağlıklı yaşama ve çalışma ortamı sağlayan kriterler
2. Yüksek gürültü seviyeli ofis ve çalışma ortamlarında duyma
3. Bina dışı açık alanlarda toplumun maruz kaldığı gürültü

Gürültü kriterleri ülkeden ülkeye değişmekle beraber, Avrupa Birliği'nin kurulmasıyla ortak bir yönetmelik çıkaran Avrupa ülkeleri ve uzun zamandır gürültü sorunuyla ilgili çalışmalar yapan Amerika Birleşik Devletleri ayrı ayrı ele alınabilir. Bunların dışında, Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization: WHO), gürültü ve insan sağlığına olan etkisi ile ilgili bildiriler yayınlamıştır.

## **4.2 ULUSLARARASI AÇI DAN GÜRÜLTÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ**

### **4.2.1. AMERİKA BİRLEŞİK DEVLETLERİ'NDE GÜRÜLTÜ KONTROLÜ**

Amerika Birleşik Devletleri'nde gürültü kontrolü, federal yasalar ve yönetmeliklerle sağlanır. Aşağıda verilen üç ana kurum İş Güvenliği ve Sağlık Dairesi (Occupational Safety and Health Act, OSHA, 1970) ve Gürültü Kontrolü Dairesi (Noise Control Act, 1972) kurumları altında çalışarak çeşitli yasalar ve yönetmelikler çıkarır. Bu üç kurum aşağıda listelenmiştir:

1. Çalışma Bakanlığı (The Department of Labor: DOL)
2. Çevre Koruma Dairesi (The Environmental Protection Agency: EPA)
3. Ulaştırma Bakanlığı (The Department of Transport)

Bu kurumlar dışında, Savunma Bakanlığı (The Department of Defense) ve İmar ve İskan Bakanlığı (The Department of Housing and Urban Development) gibi kurumlar da aktif olarak gürültü kontrolüyle ilgilenerler. [1]

Amerika Birleşik Devletleri'nde, küçük ve büyük ölçekli şehirlerde, bağlı oldukları eyalet yasaları çerçevesinde, şehre özgü gürültü kontrol yönetmelikleri vardır. Bu yönetmelikler, şehrin gürültü eğrileri, mevcut gürültü kaynakları ve değerleri hakkında da ayrıntılı bilgi içerir. Şehirlerde bulunan akustik danışmanlık şirketleri de, yasalar çerçevesinde, yeni yapılar için uygun yerleşim alanları ve gürültü kontrolü konusunda danışmanlık hizmeti verir. [1, 13, 14]

Gürültü kontrolü, Amerika Birleşik Devletleri'nde oldukça gelişmiştir ve yasalarla gürültü azalması garanti altına alınmaya çalışılmaktadır.

#### 4.2.2 AVRUPA ÜLKELERİNDE GÜRÜLTÜ KONTROLÜ

Avrupa’da gürültü kontrolü ve bu konuda yapılan çalışmalar, ülkeler bazında oldukça gelişmiş olmakla beraber, Avrupa Birliği’nin kurulmasıyla yapılan çalışmalar ilerlemiş ve ortak çözüm yolları üretilmeye başlanmıştır. Ancak toplumun gürültü kirliliğine maruz kalma endişesi, Avrupa Birliği’nin gürültü yasalarına, üye ülkelerdeki yasalara ve yerel düzeydeki uygulamalara rağmen yüksektir.

Avrupa Birliği’nin çevre gürültüsüne karşı çıkardığı yasalar genel olarak iki bölümde ele alınır: Ürünlerle (arabalar, tırlar, havayolu araçları ve endüstri araçları) yayılan gürültü için AB yasaları ve yaşanan çevrelerde izin verilen gürültü düzeyleri için üye ülke yasaları. [6]

1996’da yayınlanan Gelecekteki Gürültü Politikası İçin Bildiri (The Green Paper on Future Noise Policy) ve bildirinin temelini oluşturan çalışmalar, Avrupa Birliği ve üye ülkelerin yaklaşımlarının özelliklerini ve etkisini incelemiştir. Sonuçta da yaklaşımların ve etkilerinin yetersiz olduğu fikrine varılmıştır.

Bu durumu daha iyiye götürmek ve gürültü konusundaki mevcut olumsuz durumu azaltmak için Brüksel’de, 2000 yılında bir öneri hazırlanmıştır. Bu, “Gürültü Azaltıcı Yöntemleri Bir araya Getirmek ve Karşılıklı Bilgi Alışverişi için Öneri (Proposal for Assessment and Management of Environmental Noise)”dır. Bu öneride mevcut ve gelecek durumu sorgulamak yerine, iyileştirmek için olumlu adımlar atılmıştır. Önerinin temel olarak üç amacı vardır:

1. Öneri, çevre gürültüsü azaltma metodları ve gürültü indeksleri üzerinde ortak uyum sağlamaya çalışmaktadır.
2. Bu ortak indekslerin ve azaltma metodlarının kullanılmasıyla hazırlanacak gürültü haritalarından, mevcut durum hakkında daha fazla bilgi almayı hedeflemektedir.
3. Bu bilgileri toplumun kullanımına sunmak ve ilk hedefte bilgilerin yerel düzeyde uygulanacak hale getirilmesini sağlamaktır.

Bu öneri, Avrupa Birliği düzeyinde ve Avrupa Birliği stratejisinde önemli bir gelişme sağlayacaktır. Önerinin sunduğu direktif, üye ülkelerin gürültülü nitlerini uygulamalarını sağlamak amacıyla sunulmuştur. Eğer mevcut gürültülü nitleri yoksa, ortak karara varılmış olan gürültü indeksleri kullanılarak nitler belirlenecektir. Avrupa Birliği’nin amacı genel bir Avrupa gürültülü niti hazırlamak değildir. Amaç, üye ülkelerin kendi ülkeleri için gürültü haritalarını hazırlamasını sağlamak, ulusal gürültülü nitlerini

belirlenmektedir. Bu sayede karşılıklı gürültü değerlendirmeleri yapılabilecek ve gelecek için ortak bir yaklaşım sağlanacaktır. [6, 15]

Öldükçe yakın geçmişte hazırlanan bu öneri, Avrupa ülkelerinin gürültü kontrolüne yaklaşımındaki son tutumu sergilemesi ve uzun süredir yapılan çalışmaların sonucu olması sebebiyle oldukça önemlidir.

#### **4.2.3. TÜRKİYE’DE GÜRÜLTÜ KONTROLÜ**

Türkiye’de şehirlere özgü kriterlerin yer aldığı ayrı gürültü yönetmelikleri bulunmaktadır. Başbakanlık tarafından oluşturulmuş, 11 Aralık 1986’da 19308 sayılı Resmî Gazete’de yayınlanan Gürültü Kontrolü Yönetmeliği geçerlidir. Bu yönetmeliğin uygulanması esnasında görülen eksiklik ve aksaklıklar üzerine Yönetmelik revizyona tabi tutulmuştur. Bakanlık, Kurum ve Kuruluşlardan gelen görüşler çerçevesinde “Gürültü Kontrol Yönetmelik Taslağı” oluşturulmuştur.

Gürültü Kontrol Yönetmeliği’nde yer alan kriterler ve koyduğu sınırlamalar, Avrupa ülkelerinin genel olarak belirlediği değerlere paralellik göstermektedir. Yeni oluşturulan taslakta, bazı kriterler değiştirilmiş ve günümüze uygun hale getirilmiştir.

Yönetmeliğin kendi yetki alanları içinde uygulanmasından mahallin en büyük mülki amiri olan belediyeler ve köy mülki amirleri sorumludur. Mahallin en büyük mülki amiri, teknik konularda gerektiğinde Mahalli Çevre Kurulu’nun görüşünü ister ve yardımcıdır. [4, 5]

### **4.3. BİNA DIŞI VE BİNA İÇİ KARAYOLU GÜRÜLTÜSÜ DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ**

Zamana bağlı olarak değişen gürültülerde kullanılan kriterlerde, gürültü düzeyi ve süresi dikkate alınır. Bu, karayolu gürültüsü için de geçerli dir. Kriterler tek değerden oluşur ve insanın gürültüye karşı dan tepkisini yansıtır. [9]

#### **4.3.1. GÜRÜLTÜYLE İLGİLİ TEMEL BÜYÜKLÜKLER**

##### **4.3.1.1. SES BASINÇ DÜZEYİ**

Ses basınç düzeyi, sesi oluşturan hava titreşimlerini ölçülmesiyle elde edilir. Bütün ses basınçları standart bir basınca göre düzenlenir. Bu standart basınç da, insanın 1000 Hz frekanstaki duyma eşine karşı gelen basınçtır. İnsan kulağı, 10 – 102 Pascal arasındaki ses basınç seviyelerini duyar. Bu geniş aralığ daha kolay algılamak için logaritmik ölçekle ses basınç düzeyi ifade edilir ve birimi desibel dir (dB).

Genellikle gürültülerin ses basınç düzeyleri zamanla değişir. Bu sebepten ötürü, gürültülerin, belirli bir zaman aralığında ölçülmesi gerekir. İnsan kulağının sesi algılamak zamanına en yakın olan zaman, hızlı tepki zamanı adını alır ve standart ses basınç düzeyi ölçerlerinde seçenek olarak bulunur. Hızlı tepki zamanı 0.125 sn'dir. Karayolu gürültüsüne karşı insan tepkisini en iyi yansıttığı için, bu zaman aralığında ölçümler yapılmalıdır. Bazı modern ses basınç düzeyi ölçerleri, istenen zaman aralığında ölçümler yaparak ortalama ses basınç düzeyini de vermektedir. Yavaş tepki zamanı 1 sn olup, modern ölçerlerin olduğu durumlarda tercih edilmesi elidir. [9]

##### **4.3.1.2. FREKANS**

Frekans, periyodik bir olayın tekrar etme hızıdır. Ses frekansı da, bir saniyede havada oluşan titreşim sayısıdır. Titreşim sayısı artıkça frekans artar. Frekansın birimi Herzt (Hz)'dir. Ölçüm ve analiz kolaylığı için frekanslar, 10 oktav banda ayrılmıştır. Oktavlar belirlenirken merkez frekanslar baz alınır. 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 1600 Hz. İnsan kulağını işittiği frekans aralığı 20 – 20.000 Hz arasındadır. [9, 16]

Frekans, sesin dalga boyuyla ters orantılıdır. Düşük frekanslı sesler, uzun dalga boyuna, yüksek frekanslı sesler ise kısa dalga boyuna sahiptir. Bu sebepten ötürü düşük frekanslı sesler uzun mesafelere daha kolay ulaşabilirler.

Düşük frekanslı sesler, 20-150 Hz arasındadır. Bu tip seslere örnek olarak dizel motor sesi verilebilir. Düşük frekanslı gürültülerin uzun dalga boyu sebebiyle, gürültüyü alan kısımda kontrolü zordur. Bu nedenle, mümkün olduğunca kaynaktan gürültü kontrolü sağlanmalıdır.

Orta ve yüksek frekans içeren sese örnek olarak siren sesi verilebilir. Orta ve yüksek frekanslı sesler, düşük frekanslı seslerden daha kolay azaltılabilir. Çünkü atmosfer yutuculuğu kısa dalga boyunda etkilidir ve etkin gürültü kontrolü yapılabilir. [17]

İnsan kulağı, bütün frekanslara karşı aynı duyarlılığa sahip değildir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki, yüksek frekanslı sesler (1500 Hz ve yukarısı), düşük frekanslı seslerden daha gürültülü olarak nitelendirilmiştir. Aynı zamanda, dar frekans bandında oluşan gürültüler, geniş band ağırlığında oluşan gürültülerden daha rahatsız edici ve fazla bulunmuştur. [1]

Yukarıda bahsedilen nedenlerden ötürü, aynı ses basınç düzeyine sahip iki farklı gürültü frekans içeriklerinden ötürü, aynı olarak nitelendirilebilir. Bu yüzden, dış çevre gürültülerinin analizinde, bazı frekansların diğer frekanslardan daha önemli olduğu gözönünde bulundurulmalıdır ve detaylı frekans analizi yapılmalıdır.

Frekans ağırlığı ölçümü, belli frekans birleşimlerinin, ses içerisindeki yoğunluğunu belirlemek için kullanılır. [9]

#### **4.3.1.3. FREKANS ANALİZİ**

Günümüzde sıkça kullanılan iki tip frekans analiz aleti vardır. FFT (The Fast Fourier Transform) analiz aleti, mikrofona aldığı ses sinyallerini, matematiksel bir işlemle frekansa çevirir. Sonuç dar bantlı frekans spektrumdur. FFT analiz aleti, ölçülen frekans aralığını 400 ayrı ve doğrusal parçaya böler. Bu alet, yüksek ve alçak frekans aralığındaki dar bantları ve ses içindeki ahenkleri ortaya çıkarır. Ancak, çıkan frekans çözümü, insanlardaki frekans algılamasından farklıdır. Bunun sebebi, insanlardaki frekans çözümü, insanın logaritmik olarak frekans aralığında dağılması, FFT analiz aletinde ise, doğrusal olarak yayılmasıdır.

Dİğer tip frekans analiz aleti de, oktav analiz aletleridir. Oktav analiz aletleri, oktav ya da 1/3 oktav boşluklarına sahip, logaritmik band genişliklerini kullanır. Logaritmik genişlikte, her bandın band genişliği, frekans arttıkça artmaktadır. 1/3 oktav band analiz aleti, insan işitme sisteminin kullandığı kritik bandları en iyi yansıtan alettir. Bu sebeple, gürültü kontrolünde bu tip aletlerin kullanılması idealdir.

Bütün frekans analizi yapan aletlerde bulunması gereken özellik, gerçek zamanlı olmalarıdır. gerçek zamanlı analiz yapan bir alet, frekans analizinin hesabını ve gösterimini aynı anda yapar ve yeni bilgi girişlerini almaya devam eder. Özellikle zamanla değişen seslerin frekans analizinde, gerçek zamanlılık çok önemlidir, çünkü hesap ve gösteri marasındaki zaman farkının artması, soruna yol açar. [9]

#### 4.3.1.4 A ÖLÇÜMLÜ SES BASINÇ DÜZEYİ

A- ölçümlü ses basınç düzeyi, sık kullanılır. Devamlı gürültüye maruz kalma durumlarında ortaya çıkan işitme kaybının değerlendirilmesinde, insanları rahatsız eden gürültülerin azaltılmasında kullanılır. A- ölçümlü ses basınç düzeyinde, düşük frekansların yoğunluğu, orta ve yüksek frekanslardan düşüktür. A- ölçümlü ses basınç düzeyinin birimi dBA'dır.

İnsan kulağını işitme sistemi en çok 1000-4000 Hz arasındaki orta frekans aralıklarında duyarlıdır. İnsan kulağı, çok alçak ve çok yüksek frekanslara karşı çok duyarlı değildir. A – ölçümlü ses düzeyi, ses düzey ölçerlerinde, bu farklılığı göstermek için kullanılır. İnsanın işitme sisteminin frekans tepkisini yansıtır. Bu sebeple, gürültüye maruz kalma durumlarında sıkça kullanılır. [1]

Ancak A-ölçümlü ses düzeyi konusunda karşıt görüşler de mevcuttur. 1992'de Düsseldorf - Almanya'da düzenlenen Dünya Sağlık Örgütü Toplantısı'nda, A-ölçümlü ses basınç düzeyinin, insanın farklı frekanslara gösterdiği duyarlılığı tam yansıtmadığı söylenmiştir. Bu toplantı sonucu hazırlanan bilgilere göre, belirli tipteki yüksek ve alçak frekanslar, basit bir A-ölçümünün saptayacağından daha rahatsız edici ve zararlı olabilir. Bu sebeple, bu gibi durumlarda, ses basınç düzeyinin doğrudan ölçülmesinde fayda vardır. A-ölçümü, uluslararası kabul görmüştür, ancak bu durum doğrudan ölçülen ses basınç düzeyi için geçerli değildir. Bu sebeple, yoğun olarak alçak ve yüksek frekans içeren gürültülerin incelenmesinde, Dünya Sağlık Örgütü, A-ölçümüne ek olarak G-ölçümünü de tavsiye etmektedir. [9, 11]

#### **4.3.1.5 G ÖLÇÜMLÜ SES BASINÇ DÜZEYİ**

G-ölçümü ses basınç düzeyi de sıkça kullanılır. 31.5 – 8000 Hz frekansları arasındaki tüm frekanslara eşit önem verilir. Yaklaşık olarak düz bir frekans tepkisi vardır. Yukarıda bahsedilen nedenlerin dışında, frekans analizinin mümkün olmadığı durumlarda, A-ölçümü ve G-ölçümü düzeyleri arasındaki fark, ses içeriğindeki düşük frekans yoğunluğunu verir. Eğer seste açık bir ton yoğunluğu varsa, ek bir rahatsız edicilik de hesaba katılmalıdır. Özellikle karayolu gürültüsünün içeriğindeki düşük frekans yoğunluğunu da dikkate almak için, ek olarak G-ölçümü ses basınç düzeyi kullanılabilir. [1,9]

#### **4.3.1.6 D ÖLÇÜMLÜ SES BASINÇ DÜZEYİ**

D-ölçümü ses basınç düzeyi, karayolu gürültüsünü değerlendirmek için kullanılır. Uçak gürültüsünü azaltmak için kullanılan bir düzeydir. [1]

### **4.3.2 BİNA DIŞI KARAYOLU GÜRÜLTÜSÜ DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ**

#### **4.3.2.1 EŞDEĞER SÜREKLİ SES BASINÇ DÜZEYİ**

Eşit enerji prensibine göre, gürültü olaylarının birleşik etkisi, bu olayların birleşik ses enerjisine bağlıdır. Eşdeğer sürekli ses basınç düzeyi (Equivalent Continuous Sound Pressure Level:  $LA_{eq, T}$ ) belirli bir T zamanındaki ortalama ses basınç düzeyini tanımlamak için kullanılır. Ortalama zaman T'nin tanımlanması önemlidir. T, saniye, dakika ya da saat olabilir. IEC (International Electrotechnical Commission) kendi standartlarında  $LA_{eq, T}$  yi “Zaman ortalama düzeyi” olarak tanımlamıştır. Genellikle  $L_{eq, A}$  – ölçümü filtreler kullanılarak ölçülmektedir. Bu sebeple literatürde  $LA_{eq, T}$  olarak sıkça geçmektedir.  $LA_{eq, T}$  aşağıdaki formülle ifade edilir.[11, 18]

$$LA_{eq,T} = 10 \left[ \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p_A^{(t)}}{p_0} \right)^2 dt \right] \quad (4.1)$$

$T$  = Toplam ölçüm süresi

$p_A^{(t)}$  =  $t$  anındaki akustik basınç

$p_0$  = Referans akustik basınç ( $20 \mu Pa$ )

İntegral işlemi,  $T$  zamanındaki ortalama ses enerjisini bulduğu için, bu işleme enerji ortalaması da denilebilir.

$LA_{eq,T}$  nin ölçülmesinde, ses düzey ölçülerinin zaman integrasyonu, hızlı ya da yavaş tepki zamanlı olması önemlidir.  $LA_{eq,T}$  nin ölçülmesi, istenen zaman aralığında ölçümler yaparak ortalama ses basınç düzeyini veren modern ölçerler gerektirir.

$LA_{eq,T}$  karayolu trafik gürültüsü, birçok tip endüstri gürültüsü ve binalardaki havalandırma gürültüsü gibi devam eden sürekli gürültülerin ölçülmesinde kullanılır.  $L_{NP}$  ve  $L_{DN}$  hesaplamalarına da taban oluşturur.

Eşdeğer sürekli ses basınç düzeyi, uzun süreli gürültüye maruz kalma problemlerinin ölçülmesinde, uluslararası bir kabul görmüştür. ISO (International Standards Organization)'nun çalışma grubu, 1993'te, trafik gürültüsüne maruz kalma da kullanılan mevcut kriterleri yeniden değerlendirmiştir. Çoğunluğu  $LA_{eq}$ 'dan elde edilen yeni ve eski indeksler, mevcut gürültü tepkisiyle uyum içinde çıkmıştır. ISO tarafından  $LA_{eq}$  (ISO 1996R), toplum gürültüsü ölçümleri için (ISO 1996, 1982, 1987a, 1987c), işitme kaybı riski için (ISO 1999, 1990) ve karayolu gürültüsü ölçümleri için kullanılması gereken indeks olarak kabul edilmiştir.[9,11]

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Dairesi (U S Environmental Protection Agency: EPA), eşdeğer sürekli ses düzeyinin gürültü tanımlayıcısı olarak seçilme nedenlerini aşağıdaki şekilde maddelmiştir: [1]

1. Uzun süreli gürültünün değerlendirilmesi de uygundur.
2. Gürültünün insan üzerindeki bilinen etkileriyle iyi bir şekilde bağlantı kurar.
3. Ölçümü basit, hızlı ve pratiktir.
4. Hem planlamada, hem de uygulamada kullanılabilir.
5. İstenen ölçme aletleri standartize edilmiştir ve ticari olarak satılmaktadır.
6. Uzun süreler bakımından bırakılabilecek izleme sistemleriyle kullanıma elverişlidir.

#### 4.3.2.2 GÜNDÜZ – GECE ORTALAMA SES DÜZEYİ

Geceleri, insanın gürültüye karşı hassasiyeti artmaktadır. Bu sebeple, bu durumu göstermek için gündüz – gece ortalama ses basınç düzeyi (The Day – Night Sound Pressure Level:  $L_{DN}$ , DNL) geliştirilmiştir.

$L_{DN}$  hesaplanırken, 22:00 – 07:00 saatleri arasındaki  $L_{eq}$  değerine 10 dBA eklenir ve daha sonra 07:00 – 22:00 saatleri arasındaki  $L_{eq}$  değeriyle birleştirilir.  $L_D$ , 15 saatlik gündüz periyodundaki eşdeğer ses basınç düzeyini,  $L_N$  ise 9 saatlik gece periyodundaki eşdeğer ses basınç düzeyini temsil eder. [1]

$$L_{DN} = 10 \log_{10} \frac{1}{24} \left[ (15 \times 10^{L_D/10}) + (9 \times 10^{(L_N+10)/10}) \right] \quad (4.2)$$

Bu gösterge, ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri’nde ve bazı Avrupa ülkelerinde benimsenmiştir. Daha sonra Avrupa Birliği tarafından da gürültü göstergesi olarak kabul edilmiştir. Avrupa Birliği Komisyonu’nun 26.07.2000 tarihinde Brüksel’de yayınladığı “Çevre Gürültüsü Azaltım ve Yönetimi Teklifi”nde detaylı olarak anlatılmıştır. Bu teklifte gündüz – gece ortalama ses basınç düzeyi olarak değil, gündüz – akşam – gece ses basınç düzeyi (The Day – Evening – Night Sound Pressure Level:  $L_{DEN}$ ) olarak kabul edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri’nin California Eyaleti’nde de bu versiyon kullanılmaktadır.  $L_{DEN}$  aynı zamanda CNEL (Community Noise Equivalent Level) olarak da gösterilir. Buna göre  $L_{DEN}$ , CNEL aşağıdaki formülle ifade edilmiştir: [6-13]

$$L_{DEN} = 10 \log_{10} \frac{1}{24} \left[ \left( 12 \times 10^{L_{day}/10} \right) + \left( 4 \times 10^{L_{evening} + 5/10} \right) + \left( 8 \times 10^{L_{night} + 10/10} \right) \right] \quad (4.3)$$

$L_{day}$  = ISO 1996-2: 1987’de kabul edilmiş olan, bir senenin bütün gündüz periyotlarında elde edilmiş olan, A-ölçümlü ortalama ses düzeyidir.

$L_{evening}$  = ISO 1996-2: 1987’de kabul edilmiş olan, bir senenin bütün akşam periyotlarında elde edilmiş olan, A-ölçümlü ortalama ses düzeyidir.

$L_{night}$  = ISO 1996-2: 1987’de kabul edilmiş olan, bir senenin bütün akşam periyotlarında elde edilmiş olan, A-ölçümlü ortalama ses düzeyidir.

Bu kabulde, gündüz 12 saat, akşam 4 saat ve gece de 8 saat olarak alınmıştır. Geçerli saat aralıkları da 07:00 – 19:00, 19:00 – 23:00 ve 23:00 – 07:00’dir. [6]

#### 4.3.2.3 DÜZEY DAĞILI M

Günümüzde kullanılan bir başka yöntem de, düzey dağılım analizi ya da istatistiksel dağılım analizi dir. Ses basınç düzeyinin geçtiği toplam sürenin yüzdelerinin grafiği alınır. Bu grafikten de belirli düzeyler okunarak bilgi alınır. Örneğin,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  ve  $L_{90}$ , zamanın %10’nunu, %50’sini ve %90’nı geçen ses basınç düzeyleridir. Bu tipler en sık kullanılan istatistiksel dağılım oranlarıdır.

Örneğin,  $L_{10}$ , belirli bir saatin 1/10’nunu geçen dBA düzeyini gösterir.  $L_{10}$ ’u hesaplamak için, düzeyler, 5 saniye gibi periyodik aralıklarla ölçülmesi ve frekans dağılım grafiğine işaretlenmelidir. Grafiğin altına düşen alan %90’a ulaştığında dBA eksenindeki değer bize  $L_{10}$ ’u verir. [1,19]

#### 4.3.2.4 GÜRÜLTÜ KİRLİLİĞİ DÜZEYİ

Gürültü kirliliği düzeyi (Noise Pollution Level: NPL,  $L_{NP}$ ), gürültü yoğunluğunu değerlendiren, tek sayı gösteren bir gürültü derecelendirme düzeyidir. Eşdeğer sürekli ses basınç düzeyi ile, düzeydeki iniş-çıkışlar sonucu toplumda oluşan rahatsızlık derecesinin birleşiminden oluşur. [1]

$$NPL = L_{eq} + \sigma \bullet k \quad (4.4)$$

$L_{eq}$  = Belirli bir zaman aralığında ölçülen A ölçümlü eşdeğer sürekli ses basınç düzeyi

$\sigma$  = Aynı zaman aralığında oluşan ani çıkış yapan düzeyin standart sapma değeri

$k = 2.56$ . Bu değer, gürültüye oluşan tepkilerin araştırılması sonucu elde edilmiştir.

#### 4.3.2.5 TRAFİK GÜRÜLTÜSÜ İNDEKSİ

Trafik gürültüsü indeksi (Traffic Noise Index: TNI), Londra'da sosyal bir araştırma sonuçlarına dayanılarak oluşturulmuştur (Griffiths & Langdon, 1968). Zamanın %10'u, %50'si ve %90'ı için ölçülen dBA değerlerinin birleşiminden oluşur ve aşağıdaki formülle ifade edilir: [11,18]

$$TNI = L_{50} + 4(L_{10} - L_{90}) \quad (4.5)$$

Bu indekse göre, trafik gürültüsü sadece ortalama ses basınç düzeyi olan  $L_{50}$ 'ye değil, aynı zamanda ses basınç düzeyindeki sapmaların şiddetine ( $L_{10} - L_{90}$ ) bağlıdır. Ancak daha sonraki araştırmalar göstermiştir ki,  $L_{90}$ 'nın güvenilir bir şekilde tahmini zor olduğundan, TNI'da büyük hatalar oluşmuştur. Örneğin trafik arttığında, TNI azalmaktadır. Bunların sonucunda İngiltere'de bu ölçüm yöntemi, yapılan ilk araştırmanın olumlu sonucuna rağmen bırakılmıştır. [11]

#### 4.3.3 BİNA İÇİ KARAYOLU GÜRÜLTÜSÜ DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

Kabul edilebilir en yüksek bina içi gürültü düzeyi, mekanın kullanım amacına bağlı olarak değişmektedir. Kayıt stüdyosu ya da konser salonu gibi gürültüye karşı hassas mekanlarda olması gereken gürültü düzeyi, ofis ve konutlar için olması gereken düzeyden daha alçaktır.

Bina içi gürültü düzeyleri, iş performansının gürültü tarafından engellenme dereceleri ne göre belirlenir. Kabul edilebilir gürültü düzeyleri belirlendikten sonra, istenen gürültü azaltım sağlanabilir. Belirli bir aktivite için verilen kabul edilebilir iç gürültü düzeyleri dB cinsinden verilemez. Çünkü, engellenme ve rahatsızlık duyma frekansa bağlıdır. İnsan kulağı, her frekansa karşı eşit hassasiyete sahip değildir. Aynı zamanda, kabul edilebilir gürültü düzeyleri tek bir sayıyla da tanımlanamaz. Detaylı bir gürültü spektrumuna ihtiyaç vardır.

Geçmişte dBA düzeyi, insan kulağının hassasiyetini en iyi şekilde temsil ettiğinden ötürü gürültü düzeylerini tanımlamada kullanılmıştır, ancak yetersiz kalmıştır. Farklı spektruma sahip iki gürültü ortamı (farklı rahatsızlık ve iş performansı azaltım sağlanmalarına rağmen) aynı dBA düzeyine sahip olabilir. [17]

#### 4.3.3.1. KONUŞMA GİRİŞİMİ DÜZEYİ

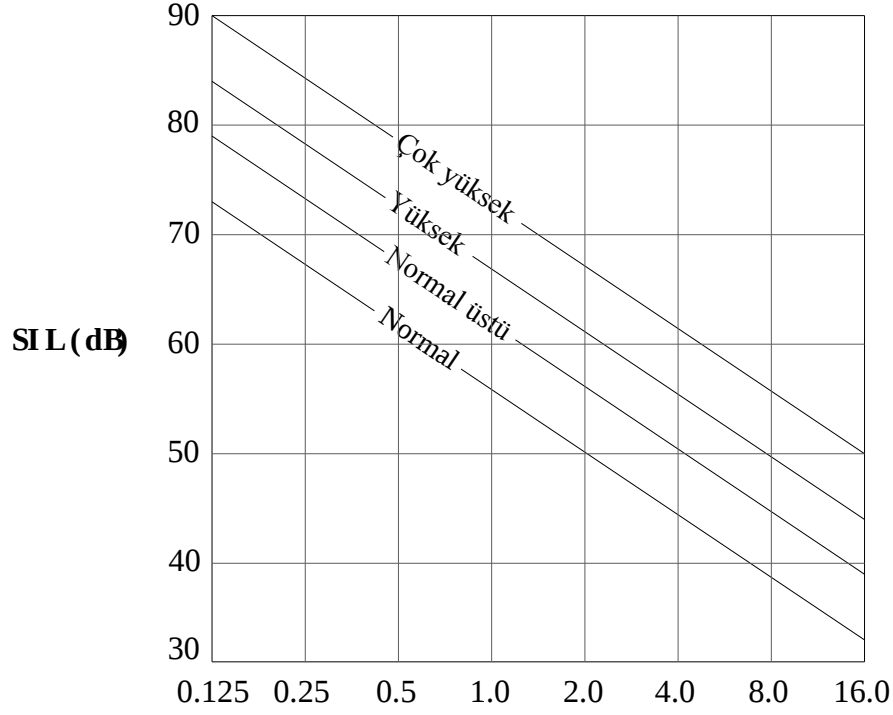
Konuşma, birçok məkanda gerçekleştirilen en kritik aktivitedir. Bu sebepten ötürü, kabul edilebilir gürültü düzeyini belirlemek için konuşmayı engelleyen gürültü derecesi esas alınır.

Konuşmanın akustik enerjisinin büyük bölümü, 100 – 6000 Hz frekans aralığındadır. Belirli bir frekanstaki ses, en kolay aynı frekanstaki başka bir ses tarafından maskelenir. Konuşma engelini belirlemede, 300 – 5000 Hz arasındaki gürültüler esas alınır. [9, 17]

Dört merkez oktav frekans olan 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz'deki ses basınç düzeylerinin aritmetik ortalamasına Konuşma Girişimi Düzeyi (Speech Interference Level: SIL) denir.

$$SIL = \frac{SPL_{500} + SPL_{1000} + SPL_{2000} + SPL_{4000}}{4} \quad (4.6)$$

Farklı konuşma girişimi düzeyleri altında, SIL ve konuşmacı – dinleyici mesafesi arasındaki ilişki aşağıda Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Bu grafiğe göre, gürültünün SIL değeri 40 dB ise, iki erkek, normal ses düzeyiyle konuşarak, 6 metreye kadar iletişimi kurabilirler. Eğer seslerini yükseltirlerse mesafe 11 metreye çıkar. [17]

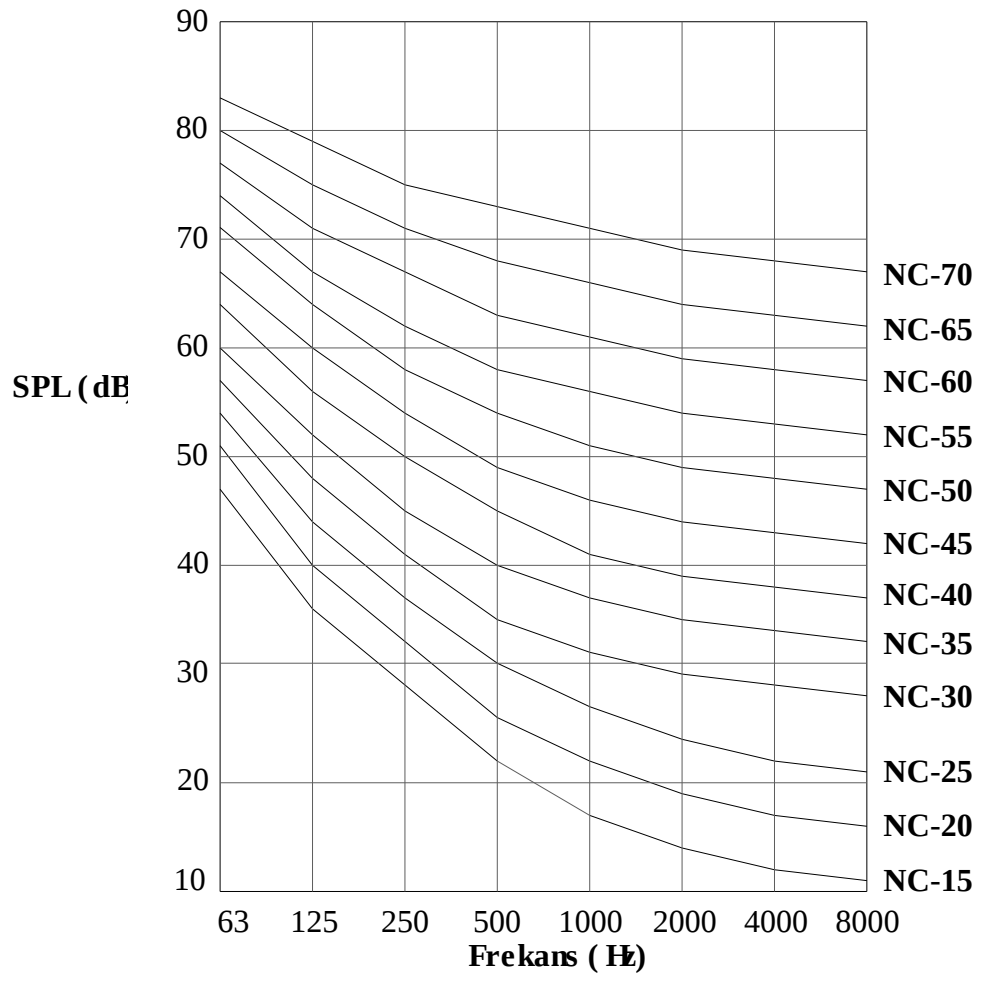


Şekil 4.1: Konuşma Girişimi Düzeyleri Grafiği (Mehta, M, Architectural Acoustics)

#### 4.3.3.2 GÜRÜLTÜ KRİTERİ EĞRİLERİ

Konuşma girişimi düzeyine bağlı olarak arka plan gürültü düzeylerini belirlemenin çeşitli sınırları vardır. Çünkü, gürültünün yol açtığı rahatsızlık yapılanışı engellemeye gibi olumsuz etkilerini kapsamaz. Ofis, kamu alanları, işletmelerde çalışan insanlarla yapılan detaylı anketler sonucu, belirli oktav band ses basınç düzeyi eğrileri oluşturulmuştur. Bu eğriler, Gürültü Kriteri Eğrileri (Noise Criteria Curves: NC Curves) olarak adlandırılır. Her eğri, bir sayıyla tanımlanmıştır: NC 20, NC 30 gibi.

NC eğrileri, eş gürültü kontürlerine benzer, ancak, kulağın alçak frekanslara karşı gösterdiği daha az hassasiyeti öne çıkarır. Bu eğriler, ısıtma – havalandırma sistemlerinin, konuşma, müzik dinleme, televizyon izleme gibi aktivitelerine ölçüde engellendiğinin ölçülmesi çalışmalarının sonucudur. Ancak, günümüzde, ısıtma – havalandırma gürültülerini kapsamak üzere, sürekli karakterdeki gürültü kaynağı için kullanılmaktadır. Eğrilere bağlı olarak arka plan gürültü düzeyleri saptanmaktadır. Aşağıda, Şekil 4.2’de, NC eğrileri gösterilmektedir. Tablo 4.1’de ise gürültü kriterlerinin oktav band değerleri gösterilmektedir. [17,20]



Şekil 4.2 Gürültü Kriteri Eğrileri (Mehra, M, Architectural Acoustics)

Tablo 4. 1: Gürültü Kriterlerinin Oktav Band Değerleri (Mhta, M, Architectural Acoustics)

| NC Değeri | Frekans (Hz) |     |     |     |      |      |      |      |
|-----------|--------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|           | 63           | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| NC-15     | 47           | 36  | 29  | 22  | 17   | 14   | 12   | 11   |
| NC-20     | 51           | 40  | 33  | 26  | 22   | 19   | 17   | 16   |
| NC-25     | 54           | 44  | 37  | 31  | 27   | 24   | 22   | 21   |
| NC-30     | 57           | 48  | 41  | 35  | 31   | 29   | 28   | 27   |
| NC-35     | 60           | 52  | 45  | 40  | 36   | 34   | 33   | 32   |
| NC-40     | 64           | 56  | 50  | 45  | 41   | 39   | 38   | 37   |
| NC-45     | 67           | 60  | 54  | 49  | 46   | 44   | 43   | 42   |
| NC-50     | 71           | 64  | 58  | 54  | 51   | 49   | 48   | 47   |
| NC-55     | 74           | 67  | 62  | 58  | 56   | 54   | 53   | 52   |
| NC-60     | 77           | 71  | 67  | 63  | 61   | 59   | 58   | 57   |
| NC-65     | 80           | 75  | 71  | 68  | 66   | 64   | 63   | 62   |
| NC-70     | 83           | 79  | 75  | 73  | 71   | 69   | 68   | 67   |

Literatürde, çeşitli yapı tipleri için istenen gürültü kriteri değerleri incelenmiş ve sonuç olarak 1999 yılında basılmış kaynaktaki tablo esas alınmıştır. Aşağıda, Tablo 4.2, ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers)'nin 1995 yılında basılmış kitabına dayanılarak hazırlanmıştır.

Tablo 4. 2: Boş Mekan Tipleri İçin Önerilen Gürültü Kriteri Değerleri (Mehta, M, Architectural Acoustics)

| Mekan Tipi                                    | NC Değeri    | dBA Değeri |
|-----------------------------------------------|--------------|------------|
| Villa, apartman dairesi                       | 25 - 35      | 33 - 43    |
| Oteller ve moteller                           |              |            |
| Odalar, toplantı salonları                    | 25 - 35      | 33 - 43    |
| Koridorlar, lobiler                           | 35 - 45      | 43 - 43    |
| Ofis Binaları                                 |              |            |
| Yönetim ve özel ofisler                       | 25 - 35      | 33 - 43    |
| Açık planlı ofisler                           | 30 - 40      | 38 - 48    |
| Sirkülasyon alanları                          | 40 - 45      | 48 - 53    |
| Hastaneler ve klinikler                       |              |            |
| Özel odalar ve ameliyat odaları               | 25 - 35      | 33 - 43    |
| Hasta koğuşları, koridorlar, bekleme alanları | 30 - 40      | 38 - 48    |
| Uygulamalı sanat binaları                     |              |            |
| Tiyatrolar, müzik öğrenimi veren derslikler   | max. 25      |            |
| Müzik çalışması yapılan odalar                | max. 35      |            |
| Konser ve resital salonları                   | Akustik dñş. |            |
| Laboratuvarlar (Zararlı gaz ve duman çıkışlı) |              |            |
| Az konuşma yapılan test ve araştırma odaları  | 45 - 55      | 53 - 48    |
| Telefon görüşmesi yapılan araştırma odaları   | 40 - 50      | 48 - 58    |
| Grup öğrenimi yapılan odalar                  | 35 - 45      | 43 - 53    |
| Kiliseler, camiler ve sinagoglar              | 25 - 35      | 33 - 38    |
| Okullar                                       |              |            |
| 70 m <sup>2</sup> 'ye kadar olan derslikler   | max. 40      |            |
| 70 m <sup>2</sup> 'den büyük olan derslikler  | max. 35      |            |
| Kütüphaneler                                  | 30 - 40      | 38 - 48    |
| Adliyeler                                     |              |            |
| Mikrofonlu konuşma yapılan salonlar           | 25 - 35      | 33 - 43    |
| Mikrofonsuz konuşma yapılan salonlar          | 30 - 40      | 38 - 48    |
| Kapalı stadyumlar jimnastik salonları         | 40 - 50      | 48 - 58    |

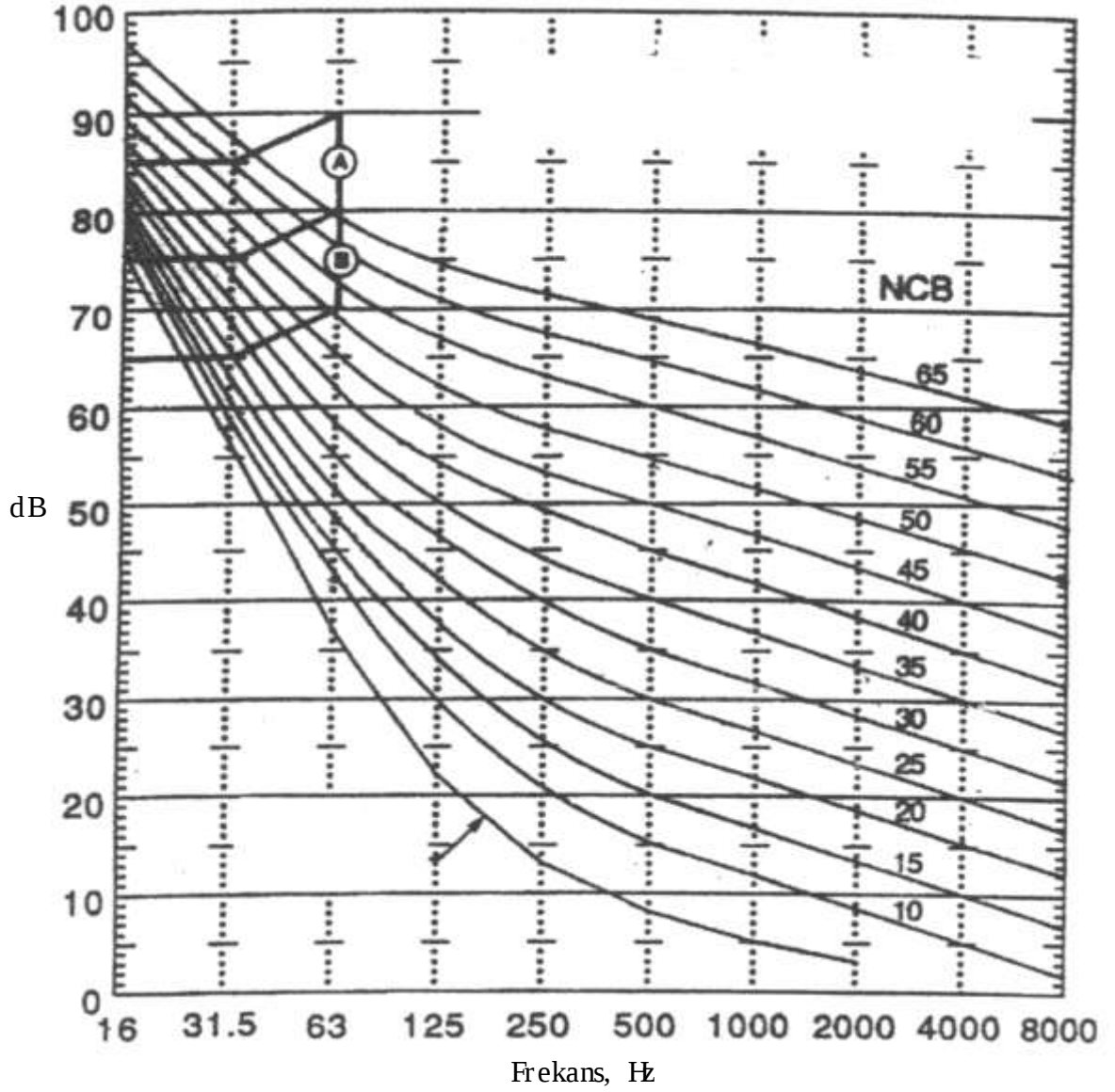
#### **4.3.3.3 KABUL EDİLEBİLİR GÜRÜLTÜ KRİTERİ EĞRİLERİ**

Kabul edilebilir gürültü kriteri eğrileri (Preferred Noise Criteria Curves: PNC) 1971’de geliştirilmiştir. NC eğrilerinin geliştirilmiş şeklidir. Bu eğriler daha kabul edilebilir gürültü kriterine sahiptirler. Genellikle havalandırma sistemlerinin gürültüsünde, açık planlı mekanların arka plan ses düzeyinin belirlenmesinde ve akustik gizliliğin önemli olduğu mekanlarda kullanılır. [2]

125, 250, 500 ve 1000 Hz merkez oktav band frekanslarında, PNC eğrileri, NC eğrilerinden 1 dB daha düşüktür. Ancak eğrilerin dereceleri aynıdır. 63 Hz’te ise, PNC eğrileri 4 ya da 5 dB daha düşüktür. Aynı şekilde, en yüksek üç bandda da 4 – 5 dB daha düşüktür. [20]

#### **4.3.3.4 DENGELENMİŞ GÜRÜLTÜ KRİTERİ EĞRİLERİ**

Dengelenmiş gürültü kriteri eğrileri (Balanced Noise Criteria Curves: NCB) yakın bir geçmişte geliştirilmiştir. Gürültü kriteri eğrileriyle aynı temele dayandırılmıştır. Ancak, dengelenmiş gürültü kriterini belirlemek için yapılan ses basınç düzeyi ölçümleri, yerleşmiş, dolu bir odada yapılır. NCB eğrileri, 500 Hz’in altındaki frekansları ve 1000 Hz’in üzerindeki frekansları değerlendirecek şekilde geliştirilmiştir. NCB eğrileri aşağıda Şekil 4.3’te gösterilmiştir. [21]



Şekil 4.3 NCB Eğrileri

Mekan tiplerine göre olması gereken minimum, maksimum ve ortalama NCB değerleri aşağıda Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3 Mekan Tiplerine Göre Ortalama Gereken NCB Değerleri

| Mekan Tipi                                            | NCBmin | NCBort | NCBmax |
|-------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Büyük oditoryumlar, tiyatrolar                        | –      | –      | 20     |
| Kayıt stüdyoları                                      | 20     | 22     | 25     |
| Küçük oditoryumlar, konferans salonları               | 25     | 28     | 30     |
| Yatak odaları, oteller, hastane odaları, konutlar     | 25     | 30     | 40     |
| Özel - yarı özel ofisler, sınıflar, kütüphaneler      | 30     | 35     | 40     |
| Oturma odaları, hobi odaları                          | 30     | 35     | 40     |
| Büyük ofisler, resepsiyonlar, kafeteryalar            | 35     | 40     | 45     |
| Lobiler, laboratuvarlar, sekreterlik alanları         | 40     | 45     | 50     |
| Hafif tamir dükkanları, mutfaklar, bilgisayar odaları | 45     | 50     | 55     |

#### 4.3.3.4 KOMPOZİT GÜRÜLTÜ DERECEŚİ

Kompozit gürültü derecesi (Composite Noise Rating - CNR), toplumun gürültüye karşı tepkisini, oktav band ses düzeyi bilgilerini, arka plan ses düzeyi, konşu mekan tipi, gürültünün tekrarlanma oranı, mevsimsel faktörler ve sıcaklık faktörü gibi bileşenlerle birleştirerek ölçer. Genellikle Amerika’da, trafik gürültüsü, endüstriyel gürültü ve havaalanı gürültüsünü değerlendirme amacıyla kullanılmaktadır.

CNR belirlenirken, öncelikle gürültü kaynağının oktav band düzeyleri ölçülür. Her band düzeyi, belirli bir zaman aralığında ve belirli bir sayıda alınan ölçümlerin ortalaması düzeyini gösterir. Daha sonra, gürültü derecesini toplam olarak belirlemek için hazırlanmış olan grafikler yardımıyla kesin CNR değerine ulaşılır. Oktav band değerleri üzerindeki düzeltmeler, mekanın arka plan ses düzeyine, gürültünün tekrarlanma sayısına ve gürültüye maruz kalan toplumun yapısına bağlı olarak gerçekleştirilir. [1]

#### 4.3.3.5 EŞDEĞER SÜREKLİ SES BASINÇ DÜZEYİ

Daha önce bina dışı gürültü kriterlerinde detaylı olarak açıklanmış olan eşdeğer sürekli ses basınç düzeyi ( $LA_{eq,T}$ ), aynı zamanda bina içi gürültü kriteridir.

## **BÖLÜM 5 : SES YALITIMI AÇISINDAN YAPI ELEMANLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

### **5.1. GİRİŞ**

Rahatsız edici, istenmeyen her ses, gürültü olarak adlandırılır. İstenmeyen kabulü bireyden bireye değişir ve sesin tipi, gürültüsü, frekansı, içeriği ve süresiyle bağlantılıdır. Müzik bile, yanlış zamanda, yanlış yerde çalınırsa, gürültü olarak nitelendirilir. Hatta, bir insan için müzik, başka bir insan için gürültü olabilir.

Binalarda gürültü kontrolü sağlamanın prensiplerinden biri, gürültünün bina kabuğu ile engellenmesidir. Düşük ses geçirimi bariyerlerle ses geçiriminin azaltılmasına ses yalıtımı denir. [17]

### **5.2 HAVA DOĞUŞUMLU SESLER**

Binalarda ses yalıtımı prensiplerinin doğru olarak uygulanması, sesin özelliklerinin ve tipinin doğru olarak saptanmasıyla mümkündür. Ses, binada iki şekilde yayılır: Hava ile ve yapı titreşimi ile.

Binalardaki çoğu ses hava doğuşumdur. Konuşma, müzik aletleri, fanlar, motorlar, uçaklar ve arabalar hava ile yayılan ses oluşturur.

Strüktür doğuşumlu ses, bina elemanları (duvar, döşeme, çatı, vb) üzerinde oluşan bir darbe ile meydana gelir. Darbe, bina elemanını titreştirir ve titreşimsesi yayar. Darbe ile bağlantılı olduğundan, strüktür doğuşumlu ses, darbe sesi olarak da bilinir. Duvara çakılan çivi, insanın döşeme üzerinde yürümesiyle oluşan ses, strüktür doğuşumlu sese örneklerdir.

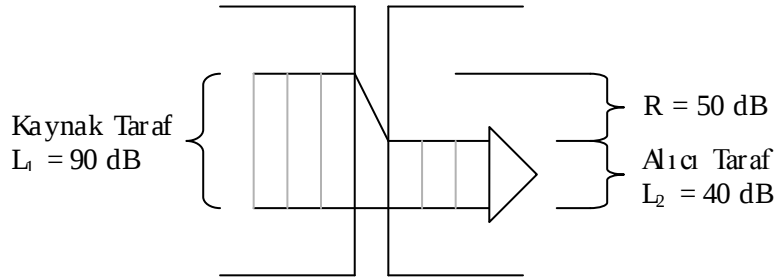
Strüktür doğuşumlu ses, darbe ve titreşimle, yapı elemanı ile ilişki halinde, bir ses kaynağı oluşturur. Yapı bileşeni de darbe veya titreşim kaynağından oluşan sesi yayar. Örneğin, titreşen bir musluk, kendi başına fazla ses yaymaz. Ama rijit olarak bir duvara bağlıysa, ses, çeşitli kollarıdan, duvar içi titreşimlerle yayılır.

Birçok kaynak, ya strüktür ya da hava oluşumlu ses oluştururken, bazı kaynaklar, iki tip ses de oluşturur. Örneği döşemeye monte edilmiş bir makine, iki tip sesi de oluşturur. Fanlar, hareketli parçalar hava doğuşumlu ses oluştururken, makine içi titreşimler, strüktür doğuşumlu ses yaratırlar.

Birtakım ortak özelliklere karşın, iki tip için oluşturulacak ses yalıtım sistemleri farklıdır. [17]

### 5.3. SES GEÇİŞ KAYBI

Ses geçiş kaybı (Transmission Loss: TL, R), ses enerjisini, malzemelerden geçerken ne kadar azaldığını gösterir. Şekil 5.1’de bu azalış gösterilmiştir. [16, 17]



Şekil 5. 1: Ses Geçiş Kaybı (Mehmet, M, Architectural Acoustics)

$$R = L_1 - L_2 \quad (5.1)$$

$R$  = Ses geçiş kaybı (dB)

$L_1$  = Kaynak taraftaki ses düzeyi (dB)

$L_2$  = Alıcı taraftaki ses düzeyi (dB)

Ve buradan,

$$R = 10 \log 1 / \tau \quad (5.2)$$

$\tau$  = Ses geçiş katsayısı

Ses geçiş katsayısı, malzemenin geçirdiği ses enerjisinin mevcut ses enerjisine oranıdır. Bu değer 0 – 1 arasında değişir.  $\tau = 0$  , malzemenin hiç ses geçirmediğini,  $\tau = 1$  ise malzemenin akustik olarak tamamen geçirgen olduğunu gösterir. [17] Ses geçiş kaybı hesaplamaları Bölüm 6’da detaylı olarak anlatılmıştır.

#### 5.4 SES YUTUCULUğU VE SES YALITIMI

Kalın ve gözenekli bir ses yutucu malzeme, yüksek ses yutuculuğu sağlar. Yüksek düzeyde ses yutuculuk oranına karşın, gözenekli bir ses yutucu malzemenin ses geçiş kaybı, malzeme kalın olsa bile düşüktür. Bunun sebebi, ses yutuculuk katsayısının doğrusal ölçekte, ses geçiş kaybının logaritmik ölçekte olmasıdır.

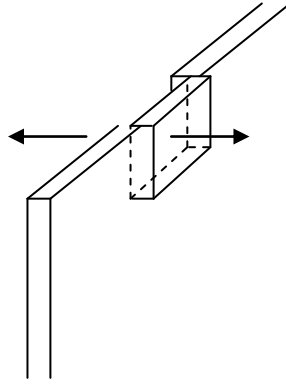
Genel bir kural olarak, eğer bir malzeme havayı geçiriyorsa, sesi de geçirir. Bu yüzden, gözenekli bir ses yutucu malzeme havayı geçirdiği için zayıf ses yalıtımı sağlar. İyi ses yalıtımı sağlayan malzemeler hava geçirimsiz olmalıdır. [17]

## 5.5 TEK TABAKALI YAPI KONSTRÜKSİYONLARI

### 5.5.1. KÜTLE KANUNU

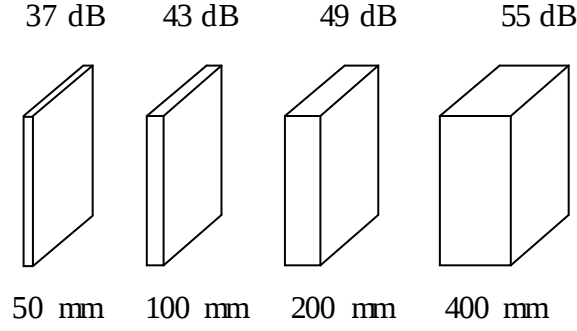
Yapı konstrüksiyonları genellikle farklı yapı malzemelerinin birleşiminden oluşur. Bu tip konstrüksiyonlara çok tabakalı yapı konstrüksiyonları denir. Diğer taraftan, tuğla duvar, betonarme döşeme ve camgibi yapı elemanları, tek bir malzemeden oluştuğu için, tek tabakalı yapı konstrüksiyonu olarak adlandırılır.

Kütle kanununa göre, yapı malzemesinin her birim yüzeyi, birbirinden bağımsızdır. Ses titreşimlerine maruz kaldığında bu parçalar birbirini etkilemeden kayar. Bu ideal olarak kabul edilen bir durumdur. Şekil 5.2’de titreşim halindeki bir malzeme parçasının hareketi gösterilmektedir.



Şekil 5. 2: Titreşim halindeki malzeme parçasının kayması ( Mehta, M, Architectural Acoustics)

Ses geçiş kaybı, alan ağırlığı ve frekansla orantılıdır. Alan ağırlığı veya frekansını ikişer kat arttırılması, ses geçiş kaybını 6 dB arttırır. Buna kütle kanunu denir. Aşağıda, Şekil 5.3’de, bir yapı malzemesinin kütlesinin artmasıyla aldığı ses geçiş kaybı değerleri verilmiştir.



Şekil 5. 3: Bir yapı malzemesinin kütle değişimiyle aldığı ses geçiş kaybı değerleri (Mehmet M. Architectural Acoustics)

### 5.5.2 KRİTİK FREKANS

Kütle Kanunu, yapı malzemesinin her parçasının birbirinden bağımsız olduğunu ve parçaların birbirini etkilemeden kaydığını öngörür. Bu, malzeme sıfır sertliğe sahip olduğunda, yani bütünyle yumuşak ve elastik olduğunda mümkündür.

Gerçek bir yapı malzemesi ise yumuşak değildir. Malzemenin parçaları birbirinden bağımsız olmayıp birbirine elastik kuvvetlerle bağlıdır. Malzemenin eğilme oluşan bölümü, eğilme dalgalarını yayar. [17]

Malzemenin sertlik derecesi, ses geçiş kaybını etkiler. Sertleştikçe, ses geçiş kaybı düşer. Örneğin, eşit alan ağırlığına sahip iki adet kontrplak panelin biri yivli olsun. Yivli panel, daha az sertliğe sahip olduğundan daha yüksek ses geçiş kaybına sahip olacaktır. [16, 17]

Genellikle bütün yapı malzemelerinde alan ağırlığı ve sertlik oranı birbiriyle ilişkilidir. Malzemenin kalınlığı arttırıldıkça, alan ağırlığı ve sertlik artar.

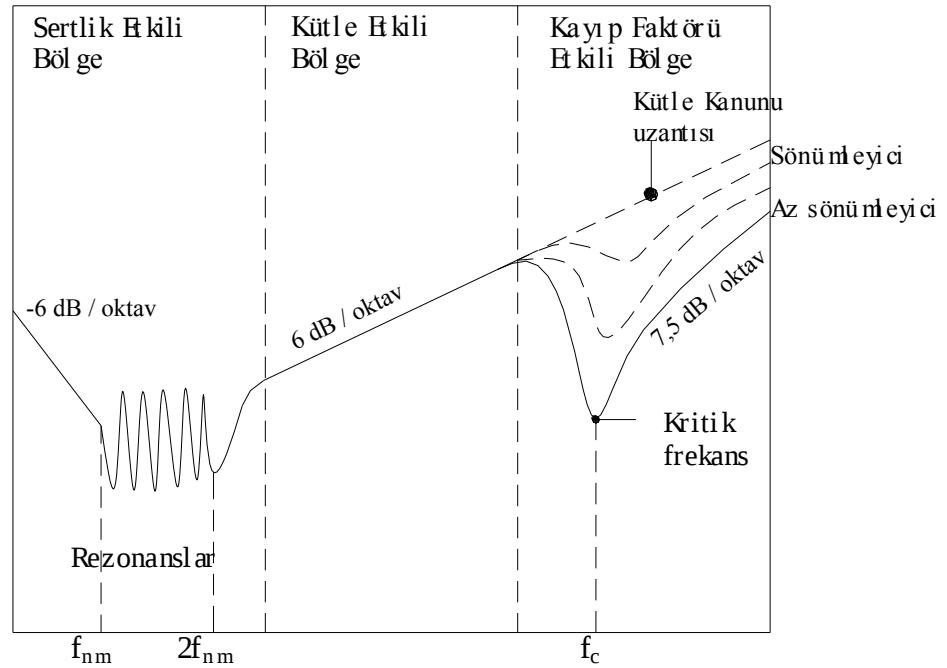
Tek tabakalı bir malzemenin ses geçiş kaybı yalnızca kütleyle bağlı değildir. Ses geçiş kaybını 3 faktör etkiler:

1. Kütle
2. Sertlik Oranı
3. Sönümleyicilik

Tek tabakalı bir yapı malzemesinin ses geçiş kaybı – frekans ilişkisi ana olarak üç frekans bölgesine ayrılır: [22]

1. Sertlik Etkili Bölge
2. Kütle Etkili Bölge
3. Kayıp Faktörü Etkili Bölge

Tek tabakalı bir yapı malzemesinin ses geçiş kaybı – frekans ilişkisi, aşağıda Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4: Tek tabakalı bir yapı malzemesinin ses geçiş kaybı – frekans ilişkisi

Kritik frekansın ( $f_c$ ), rezonans frekansının ( $f_{nm}$ ) iki katından büyük olduğu durumda, ses geçiş kaybı, rezonans frekansının altındaki frekanslarda, malzemenin sertliğine bağlıdır. Bu bölge, Sertlik Etkili Bölgedir.

Rezonans frekansının iki katı olan frekansta, ses geçiş kaybı, malzemenin kütlesine bağlıdır. Kütle Etkili Bölgede, malzemenin ses geçiş kaybı, alan ağırlığına bağlı olarak saptanır. Bu bölgede kütle kanunu geçerlidir ve ses geçiş kaybı, her oktavda 6 dB artar.

Kritik frekansın üzerindeki frekanslarda, ses geçiş kaybı, malzemenin kayıp faktörüne bağlıdır. Bu bölge, Kayıp Faktörü Etkili Bölgedir. Malzemenin kayıp faktörü, malzemeni i sönümleyiciliğine bağlıdır. Bu bölgede, ses geçiş kaybında ana bir çukur (akustik boşluk) vardır. Buna çakışma çukuru denir ve bu çukur, sert malzemelerde 15 dB'e kadar ulaşır. Çakışma çukurunun sebebi, malzeme üzeri ne gelen eğimli dalgaların dalgaboyunun, malzeme de ulaşan sesi ndal gaboyuyla çakışmasıdır.

Genel olarak yapı malzemelerinin ses geçiş kaybı – frekans ilişkisi, yapı malzemesinin özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Örneğin rezonans frekansı, kritik frekanstan büyük olabilir. Bu konu, ses geçiş kaybının kuramsal olarak ifade edildiği Bölüm 6' da ele alınmıştır.

Çakışma çukurun oluştuduğu frekansa kritik frekans denir. Kritik frekans 3 faktöre bağlıdır:

1. Malzemenin yoğunluğu
2. Malzemenin sese karşı dan elastikiyeti
3. Malzemenin kalınlığı

Yoğunluk ve elastikiyet, bir malzeme için sabit değerlerdir. Bu sebepten ötürü, belirli bir malzeme için, kritik frekans, sadece malzemenin kalınlığına bağlı olarak değişir. Bu bağlantı, ters orantıdır. Kritik frekansın hesaplanması ve kuramsal ifadesine Bölüm 6' da değinilmiştir.

$$\text{Kritik Frekans} \approx \frac{1}{\text{Malzeme Kalınlığı}} \quad (5.4)$$

#### 5.5.2.1. MALZEME KALINLIğI VE KRİTİK FREKANSIN ETKİSİ

Çakışma çukuru, malzemenin ses geçiş kaybını olumsuz etkilediğinden, etkisini azaltmak için izlenecek yol, kritik frekans, bulunmasını istenendiğimizi bölgeden kaydırmaktır. Kritik frekans, malzemenin kalınlığına bağlı olduğundan, kalınlığı değiştirerek, artması veya azaltılması sağlanabilir. Örneğin, 3 mm kalınlığındaki

alüminyum levhanın kritik frekansı yaklaşık olarak 4000 Hz'dir. Kalınlığını 1.5 mm'ye düşürürsek, kritik frekans 8000 Hz olacaktır ki bu değer, binalardaki gürültülerin frekans aralığından oldukça yüksektir. Binalarda sıklıkla kullanılan bazı malzemelerin kritik frekansları aşağıda Tablo 5.1'de verilmiştir:

Tablo 5. 1: Bazı Yapı Malzemelerinin Yaklaşık Kritik Frekans Değerleri (Miltam, Architectural Acoustics)

| Malzeme   | Kalınlık<br>(mm) | Kritik Frekans<br>(Hz) |
|-----------|------------------|------------------------|
| Çelik     | 3                | 4 000                  |
| Alüminyum | 3                | 4 000                  |
| Beton     | 200              | 110                    |
| Tuğla     | 200              | 115                    |
| Cam       | 3                | 5 000                  |
| Alçı      | 13               | 2 500                  |
| Kurşun    | 3                | 17.000                 |
| Kontrplak | 13               | 1 700                  |
| Vitil     | 3                | 10.000                 |

Azalan panel kalınlığı ve ses geçiş kaybını düşürür. Bu sebeple, malzeme kalınlığını düşürerek kritik frekansın azaltılmasında dikkatli olunması gerekir.

Beton ve taş gibi, geniş kalınlıklarda kullanılan malzemelerde, kritik frekans genellikle düşük olup, 100 Hz civarındadır. Binaların gürültü kontrolünde, 100 Hz'in altındaki frekanslar çok önem teşkil etmez.

Bina uygulamalarında, kritik frekans, ince olarak kullanılan yapı malzemeleri için önemlidir. Tablo 5.1’de görüldüğü gibi, alçı panel, kontrplak, cam gibi malzemelerin kritik frekansları 1.000 – 3000 Hz arasındadır. Bu frekans aralıklarında, konuşma gibi aktiviteler yapılır ve insan kulağı hassastır.

#### **5.5.2.2 YAPI MALZEMESİNİN SÖNÜMLEYİCİLİĞİ VE KRİTİK FREKANS ETKİSİ**

Kritik çukurun etkisini azaltmanın bir yöntemi de yapı malzemesinin sönümleyiciliğini arttırmaktır. Bu özellik arttıkça, çakışma çukuru düzleşecektir.

Çelik ve alüminyum yapı malzemeleri arasında en az iç titreşimsöndürücülüğüne sahiptir. Kurşun levha ise en yüksek sönümleyici özelliğe sahiptir. Geniş bir yüzey ağırlığı ve düşük sertliğe sahip olduğundan, yüksek ses geçiş kaybı sağlar. Ancak maliyet ve çevresel faktörler yüzünden, yapılarda kullanımı seyrektir.

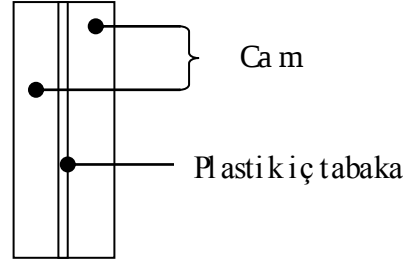
Yapı malzemelerine, viskoelastik malzemeler kullanarak sönümleme eklemek mümkündür. Çeşitli tiplerde visko – elastik malzemeler vardır. Bu mastikler yapı malzemesinin üzerine püskürtülür ya da sürülür. Başka bir yöntemde, visko – elastik bir malzeme olan poliüretan filmin, malzeme üzerine yapıştırılmasıdır. Bazı filmler, etiket şeklinde üretildiğinden, kullanımları oldukça kolaydır.

Mastik ve filmler, genellikle, iki tabaka malzeme arasına yerleştirilir. Bunlar aynı malzeme olabilir gibi, farklı malzemeler de olabilir. Örneğin iki kontrplak tabakası arasına sönümleyici bir tabaka yerleştirilebilir. Bu malzemenin ses geçiş kaybı, aynı kalınlıktaki tek tabaka kontrplaktan oldukça yüksektir.

Sönümleyici özelliğin, ses geçiş kaybı – frekans ilişkisindeki kütle kontrollü bölgeye olan etkisi çok azdır ya da hiç yoktur. Sadece sertlik kontrollü bölgede etkilidir. Sönümleyici malzemeler, rezonans halindeki eğimli ve titreşimli enerjileri emerek, ısı enerjisine dönüştürür. Bu özelliğe sahip malzemeler, sahip çelik, alüminyum ve cam gibi sert malzemelerdir.

Lamine cam aynı kalınlığa sahip normal camdan 3 dB daha fazla ses geçiş kaybı sağlar, çünkü plastik iç kısım sönümleyici görevi görür. Aşağıda, Şekil 5.5’de lamine cam

sistem açıklanmıştır. Lamine cam şehir merkezindeki ofis binaları ve havaalanı yakınındaki oteller gibi gürültülü yerleşim alanlarında sıklıkla kullanılır.



Şekil 5.5 Lamine cam sistemi (Mehmet M. Architectural Acoustics)

Günümüzde kullanımı giderek artan, yeni bir sönümleyici malzeme de yüklenmiş vinil dir. Bu malzeme, baryumsülfat ya da kalsiyum karbonat gibi ağır bir inorganik bir malzeme ile bir tür polimer karışımından oluşur. Bu malzeme ağır fakat yumuşak olup, perde gibi asılabilir. Genellikle fabrika gibi yerlerde gürültülü makinelerin bulunduğu alanları kapatmak için kullanılır.

## 5.6 İKİ TABAKALI YAPI KONSTRÜKSİYONLARI

### 5.6.1 SES GEÇİŞ KAYBI

Tek tabakalı yapı malzemelerinde, kalınlık iki kat arttıkça, ses geçiş kaybı 5 dB artar. Örneğin 100 mm kalınlığındaki tuğla duvarın ses geçiş kaybı 40 dB dir. 5 dB'lik bir artış için 200 mm kalınlığında tuğla duvar gerekmektedir. Yapı malzemelerinin ağırlığı ve kalınlığı, modern mimari de önemli etkenlerdir. Bu sebepten ötürü, tek tabakalı yapı malzemelerinin ses geçiş kaybı, pratik açıdan belli bir sınıra sahiptir.

Eğer, yapı paneli, arasında iç hava boşluğuna sahip şekilde iki ayrı tabakaya ayrılacak olursa, elde edilecek olan ses geçiş kaybı, aynı kalınlığa sahip tek tabakalı panel den daha fazla olacaktır.

### **5.6.1.1. YAPI KONSTRÜKSİYONUNUN TABAKALARINI AYIRMANIN ÖNE Mİ**

İdeal olarak, çok iki tabaka birbirine bağlı olmalıdır. Eğer bir şekilde, yapı elemanları, birbirlerinden bütünüyle bağımsız olacak şekilde birleştirilebilecek olsalar, bu sistemin ses geçiş kaybı, her tabakanın ses geçiş kayıpları toplamına eşit olacaktı. Ancak gerçek bir yapı sisteminde bu tam anlamıyla mümkün değildir. Çünkü strüktürel açıdan bağımsız olsalar da, iki tabaka birbirine, altta ve üstte, döşeme ve tavan ile bağlıdır. Ayrıca, iki tabakayı içten birbirine bağlayan elemanlar da mevcuttur.

### **5.6.1.2. YAPI TABAKALARININ BİRBİRİNDEN FARKLI OLMASININ ÖNE Mİ**

Tek tabakalı yapı konstrüksiyonlarında olduğu gibi, çift tabakalı yapı konstrüksiyonlarında da rezonans çukuru vardır. Yalnız, rezonans problemi, bu tip sistemlerde daha karışıktır. Ancak rezonans etkisi, farklı rezonans frekansına sahip malzemeler kullanılarak azaltılabilir.

Eğer iki tabaka birbiriyle aynıysa, aynı kalınlıktaki aynı malzemeden oluşmuş ve aynı şekilde uygulanmışsa (aynı ölçüde veya aynı bağlantı aralıklarıyla), aynı rezonans frekansına sahip olacaklardır. Sonuç olarak, rezonans etkisi vurgulanmıştır ve rezonans çukuru artar. Bu sebeple, farklı kalınlıkta aynı malzemeden kullanmak ya da farklı malzemeler kullanmak bu çukurun şiddetini azaltır. Aynı malzemeden farklı kalınlıkta kullanmak genellikle daha pratiktir.

### **5.6.1.3. BOŞLUKTA GÖZENEKLİ SES YUTUCU MALZEME KULLANMANIN ÖNE Mİ**

İki tabakalı yapı konstrüksiyonlarının ses geçiş kaybı – frekans bağıntısında, ek olarak başka bir rezonans çukuru vardır. Bu çukur, boşluktaki havanın rezonansına bağlı olarak oluşur. Boşluğun genişliği azaldıkça sertliği artar ve rezonans daha yüksek bir frekansta oluşur. Boşluğun arttırılması, daha alçak frekanslarda rezonans oluşturur.

Boşluk rezonansından kaynaklanan çukurun etkilerini azaltmanın iki yolu vardır: Birinci yol, boşluğa fiber glas ya da açık gözenekli plastik köpük gibi gözenekli bir ses yutucu malzeme koymaktır.

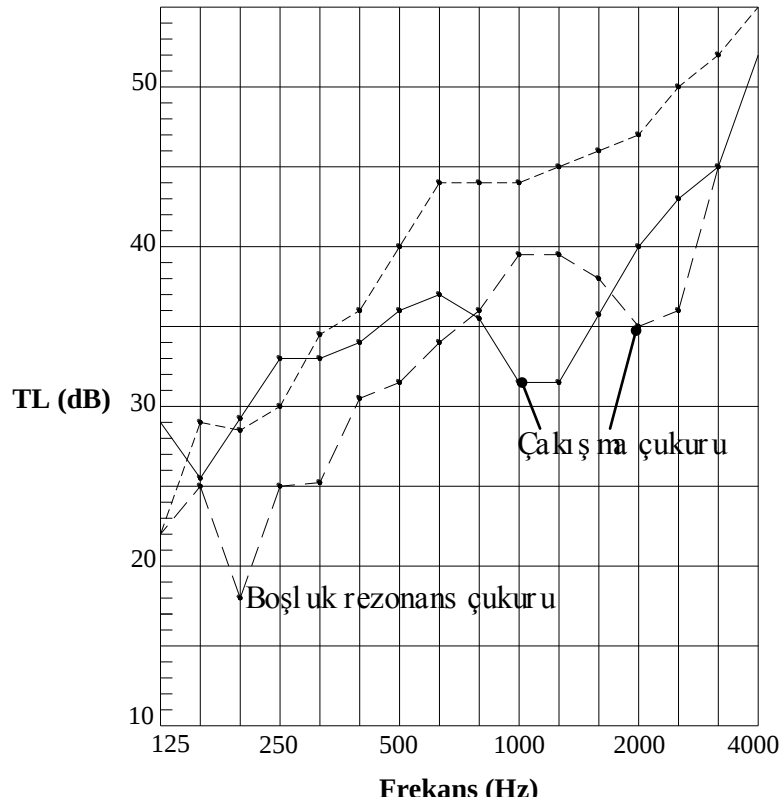
Fiberglas, boşluğun eni ve boyunu kaplayacak şekilde konulmalıdır. Kalınlığının boşluğun genişliğinin dörtte üçünü aşmasına gerek yoktur, çünkü bu artış, ses geçiş kaybında çok az bir gelişme sağlar.

#### **5.6.1.4 GENİŞ BOŞLUK DERİNLİĞİNİN ÖNEMİ**

Boşluk rezonansının etkisini azaltmanın ikinci yolu da boşluğun derinliğini arttırmaktır. Boşluktaki havanın rezonans frekansı, boşluğun genişliğiyle ters orantılıdır. Eğer genişlik etkili bir şekilde arttırılırsa, boşluktan kaynaklanan rezonans çukurunu, bizi etkilemeyen bir frekans aralığına düşürmek mümkündür. Yalnız, bu artış, uygulanabilir pratik ölçüler içinde yapılmalıdır.

İki tabakalı bir yapı panelinde, malzemeler arasında çok dar bir hava boşluğu bırakılırsa, ses geçiş kaybının perforansı, tek tabakalı bir panelden daha kötü olabilir. Bunun sebebi boşluğun oluşturduğu rezonans çukurudur.

Aşağıda, Şekil 5.6'da, 13 mm kalınlığında tek cam ile 6 mm kalınlığında campanellere sahip yalıtımlı çift camın, ses geçiş kaybı – frekans ilişkileri karşılaştırılmıştır. Düşük frekansta, ses geçiş kaybında oluşan çukur, boşluk rezonansından kaynaklanmaktadır. La mine cam aynı kalınlık ve hava boşluğuna sahip normal camdan, daha iyi perforans göstermektedir. [17]



———— 13 mm cam

----- 2 tabaka 6 mm lamine cam  
12 mm hava boşluğu

- - - - - 2 tabaka 6 mm cam  
12 mm hava boşluğu

Şekil 5. 6: Üç ayrı cam sisteminin ses geçiş kaybı – frekans ilişkilerinin karşılaştırılması  
(Mehmet M, Architectural Acoustics)

## 5.7. ÜÇ YA DA DAHA FAZLA TABAKALI YAPI KONSTRÜKSİYONLARININ SES GEÇİŞ KAYBI

Yapı konstrüksiyonlarının ses geçiş kaybı değerlerini arttırmak için, aynı veya farklı malzemelerden oluşan üç ya da daha fazla tabaka kullanılabilir. Ancak maliyet, ağırlık ve yer gibi problemler sınırlayıcıdır. Bu açıdan da seyrek olarak kullanılır. [17]

## 5.8. SES İLETİMSİNİFİ (STC)

Birçok kritik ses yalıtım problemünde, detaylı bir ses geçiş kaybı – frekans ilişkisi gereklidir. Çeşitli yapı malzemelerinin yalıtı metkinliklerini karşılaştırmak için, bu ilişki her zaman yeterli ve pratik değildir. Bu amaçla, malzemenin ses geçiş kaybını ölçülendiren tek bir sayı gerekmektedir.

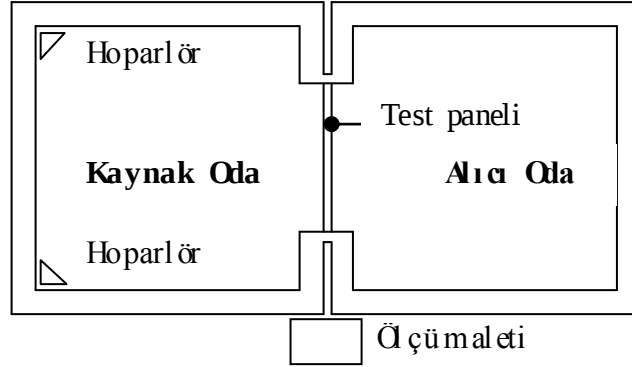
Ses geçiş kaybını frekansa bağlı olarak ölçülendiren bu tek bir sayıyı elde etmek için, malzemenin çeşitli frekanslardaki çeşitli ses geçiş kaybı değerlerinin ortalaması bulunmalıdır. Ancak genellikle ortalama değer eksiktir, çünkü grafipteki yüksek ve düşük noktalar ihmal edilmektedir.

Yukarıdaki sorunlara hitap eden, standart frekans aralığında test edilmiş yapı malzemesinin ses geçiş kaybı performansını sayısal derecesine ses iletimsini (Sound Transmission Class: STC) denir.

Bir malzemenin STC değerini elde etmek için öncelikle malzemenin ölçülmüş ses geçiş kaybı – frekans grafiğine ihtiyaç vardır. Malzemenin ses geçiş kaybı, ortak bir duvardan oluşan, ASTM( American Standards for Testing Materials) standartına uygun yapılmış iki reverberasyon odasından oluşan bir sistemle ölçülür. Aradaki ortak duvarda, malzemenin test örneğinin yerleştirildiği bir açıklık vardır. Bu açıklığın çevresi iyi bir şekilde kapatılmıştır. İki odadan biri kaynak oda, diğeri ise alıcı odadır. İki oda da kalın, masif duvarlardan oluşmuştur ve test örneğinden çok daha az ses enerjisini iletirler. Bu

yüzden iletilen ses enerjisinin neredeyse hepsi test örneğini içinden geçer. Şekil 5.7’de bu sistemin planı verilmiştir. [16, 17]

Kaynak odası ve alıcı oda arasındaki ses düzeyi farkı ( $L_1 - L_2$ ), bize, test edilen malzemenin ses geçiş kaybını desibel cinsinden verir. İki odadaki ses düzeyleri 1/3 oktav bandında ölçülür. Ses geçiş katsayısı  $\tau$  ise, yayılan ses gücünün ( $W_1$ ), alınan ses gücüne oranıdır ( $W_2$ ). [16]



Şekil 5. 7: Malzeme panelinin ses geçiş kaybını ölçmek için hazırlanan ölçüm ortamı (Mehmet M, Architectural Acoustics)

### 5.8.1. STC ÖLÇÜLENDİRME SİSTEMİ

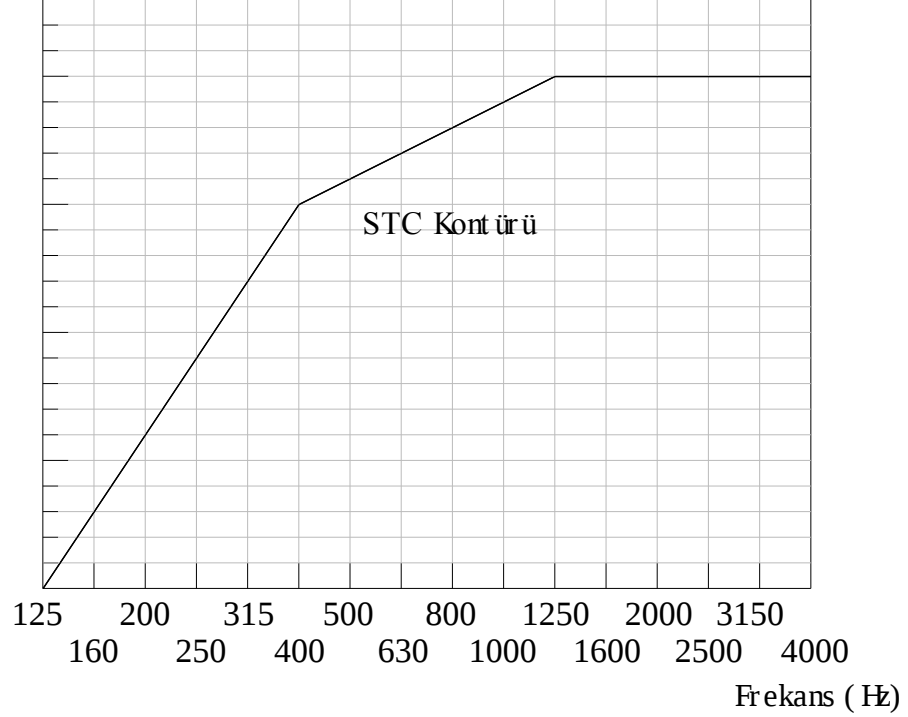
1960’larda, dokuz frekans ortalaması yapılarak yapılan ses geçiş kaybı ölçümleri yetersiz kalmıştır. Çünkü, tek bir frekansta başarılı olan bir ses yalıtım, diğer frekanslarda zayıf kalabilmektedir.

Yeni geliştirilen ses iletim sistemi, 125 – 4000 Hz konuşma frekansı aralığındaki bütün ses geçiş kaybı eğrisini ölçer ve standart bir dış hattı referans olarak kabul eder. Ancak bu metod, müzik ve mekanik araç gürültülerinin yüksek olabileceği 125 Hz altındaki frekanslarda kullanılmaz. Bir malzemenin STC derecesi, 500 Hz frekansta, standart konturla, final ölçüsünün kesiştiği ses geçiş kaybı değeridir. [16]

### 5.8.2 STC KONTÜRÜ VE STC ÖLÇME KRİTERİ

STC ölçme metodu, ASTM'nin belirlediği metotla yapılır. Yapı malzemesinin test örneğinin, 125 – 4000 Hz arası 16 oktav banttaki ses geçiş kaybı değeri ölçülür ve bu değerler, ait oldukları frekansa göre işaretlenir. Şeffaf referans STC kontürüyle karşılaştırılır. Standart STC kontürü, aşağıda Şekil 5.8'de gösterilmiştir.

Ses Geçiş Kaybı (dB)



Şekil 5.8 Standart STC Kontürü (Mehra M, Architectural Acoustics)

STC kontürü, test sonuçlarının oluşturduğu eğriye ve aşağıdaki kriterlere bağlı olarak mümkün olan en son pozisyona, düşey olarak taşınır. [16]

Kriterler:

1. Tek bir frekansta, test örneği eğrisinde, kontürün altında oluşmuş maksimum sapma 8 dB'i geçmemelidir.
2. 16 frekansın bütününde, kontürün altında kalantımsapmaların toplam değeri 32 dB'i geçmemelidir.

## 5.9. KOMPOZİT YAPI SİSTEMİNİN SES GEÇİŞ KAYBI

Birçok yapı sistemi, farklı ses geçiş kaybına sahip iki ya da daha fazla yapı malzemesinin birleşiminden oluşur. Örneğin bir duvarda, kapı ve pencere gibi açıklıklar, çatılarda çatı pencereleri bulunabilir.

Aşağıdaki formül den yola çıkılarak, farklı bileşenlerden oluşan bir yapı sisteminin son geçiş kaybı bulunabilir:

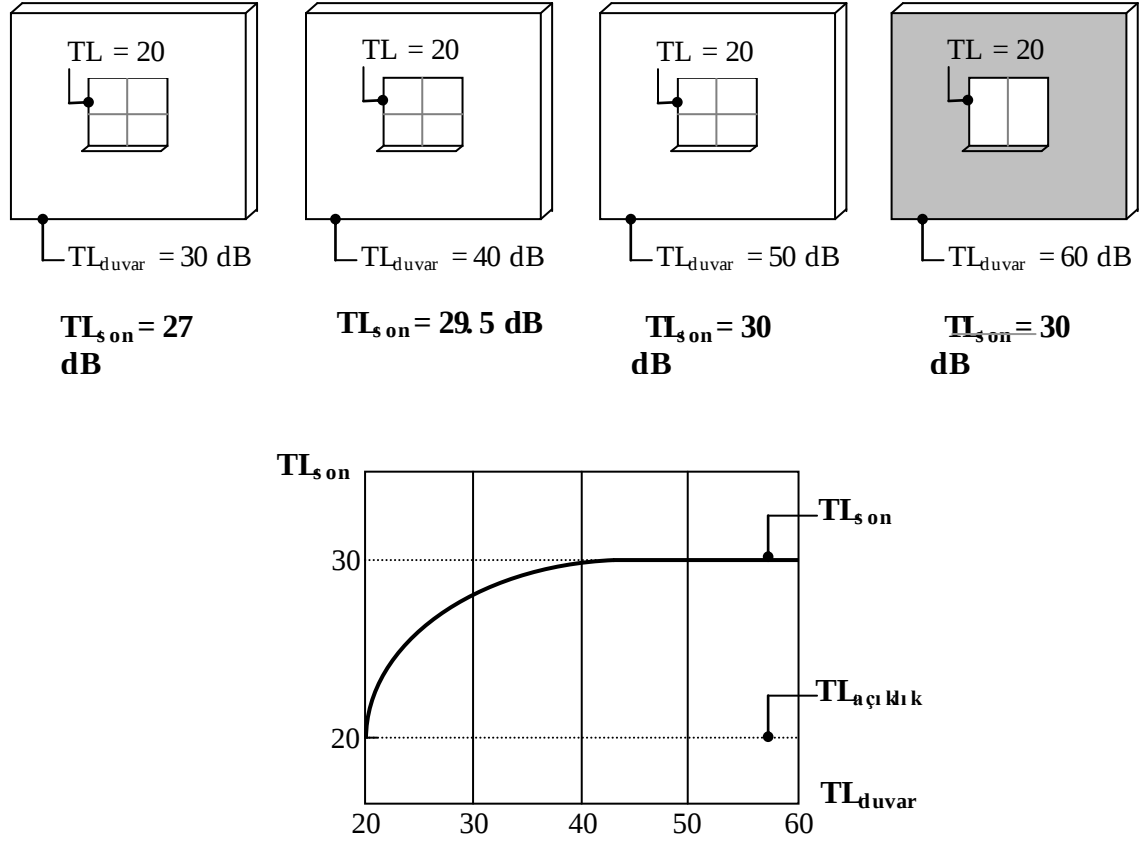
$$R_{son} = 10 \log \frac{1}{\frac{A_1}{\sum A} 10^{-0.1TL_1} + \frac{A_2}{\sum A} 10^{-0.1TL_2} + \frac{A_3}{\sum A} 10^{-0.1TL_3} + \dots} \quad (5.5)$$

İki bileşenden oluşan sistemler için aşağıda Tablo 5.2 kullanılabilir.

Tablo 5. 2: Duvardaki Açıklıklarla Ses Geçiş Kaybının Düşmesi (Mehmet M, Architectural Acoustics)

|                                   | Duvardaki Açıklıklarla Ses Geçiş Kaybının (TL)Düşmesi |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| TL <sub>d</sub> - TL <sub>a</sub> | Açıklığın Toplam Duvar Alanında Kapladığı Alan (%)    |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
|                                   | 100%                                                  | 50%  | 20%  | 10%  | 5%   | 2%   | 1%   | 0.50% | 0.10% | 0.01% |
| 0                                 | 0                                                     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     |
| 1                                 | 1.0                                                   | 0.5  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     |
| 2                                 | 2.0                                                   | 1.0  | 0.5  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     |
| 3                                 | 3.0                                                   | 2.0  | 1.0  | 0.5  | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     |
| 4                                 | 4.0                                                   | 2.5  | 1.0  | 0.5  | 0.5  | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     |
| 5                                 | 5.0                                                   | 3.0  | 1.5  | 1.0  | 0.5  | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     |
| 6                                 | 6.0                                                   | 4.0  | 2.0  | 1.0  | 0.5  | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     |
| 7                                 | 7.0                                                   | 5.0  | 2.5  | 1.5  | 1.0  | 0.5  | 0    | 0     | 0     | 0     |
| 8                                 | 8.0                                                   | 6.0  | 3.0  | 2.0  | 1.0  | 0.5  | 0    | 0     | 0     | 0     |
| 9                                 | 9.0                                                   | 6.5  | 4.0  | 2.5  | 1.0  | 0.5  | 0.5  | 0     | 0     | 0     |
| 10                                | 10.0                                                  | 7.5  | 4.5  | 3.0  | 2.0  | 1.0  | 0.5  | 0     | 0     | 0     |
| 15                                | 15.0                                                  | 12.0 | 8.5  | 6.0  | 4.0  | 2.0  | 1.0  | 1.0   | 0     | 0     |
| 20                                | 20.0                                                  | 17.0 | 13.0 | 10.5 | 8.0  | 5.0  | 3.0  | 2.0   | 0.5   | 0     |
| 30                                | 30.0                                                  | 27.0 | 23.0 | 20.0 | 17.0 | 13.0 | 10.0 | 8.0   | 3.0   | 0.5   |
| 40                                | 40.0                                                  | 37.0 | 33.0 | 30.0 | 27.0 | 23.0 | 20.0 | 17.0  | 10.5  | 3.0   |
| 50                                | 50.0                                                  | 47.0 | 43.0 | 40.0 | 37.0 | 33.0 | 30.0 | 27.0  | 20.0  | 10.5  |
| 60                                | 60.0                                                  | 57.0 | 53.0 | 50.0 | 47.0 | 43.0 | 40.0 | 37.0  | 30.0  | 20.0  |

Duvardaki kapı ve pencere gibi kısımlar, akustik açıdan zayıfsa, yani düşük ses geçiş kaybına sahipse, duvarın kendi başına sahip olduğu yüksek ses geçiş kaybı, tek başına çok etkili olmayacaktır. Şekil 5.9'da bu duruma açıklanmaktadır.



Şekil 5.9. Bir duvar sisteminin, farklı duvar ses geçiş kaybı değerleriyle aldığı son ses geçiş kaybı değerleri. (Mehra M, Architectural Acoustics)

## 5.10. SES DELİKLERİ VE DOLAYLI SES GEÇİŞLERİ

Ses deliği, sesin geçtiği amaçsız aralıktır. Ses, böyle bir delikten doğrudan geçtiği için ses geçiş kaybı sıfırdır. Bir yapı malzemesinin üstündeki bir delik malzemenin ses geçiş kaybını oldukça azaltır. Mesela toplamın %1'i kadar bir delik ses geçiş kaybını 20 dB düşürür.

Sonuç olarak, ses yalıtım sağlayan konstrüksiyon hava geçirimsiz olmalıdır. Eğer bariyerin altında, üstünde ya da yanlarında sesi geçiren delikler varsa, bunlar özel akustik macunlarla, bütün çevre boyunca macunlanmalıdır. Elektrik ve telefon çıkışları, düğmeler, duvar montaj yerleri gibi paneli içinden kesimler kapatılmalıdır.

Pencere ve kapılar contalanmalıdır. Kapıların altındaki boşluğu kapatmak için eşik bırakılabilir.

Taş duvarlar söz konusu olduğunda, taş ve harçın kesişim yerleri iyice kapatılmalı ve mümkünse boyanmalıdır. Boyama, özellikle betonarme sistemlerde gereklidir, çünkü gözenekli bir yapıya sahiptir.

### **5.10.1. AKUSTİK MACUNLAR**

Akustik macun, sertleşmeyen ve kurumayan, dolayısıyla esnek ve yapışkan bir macundur. Bu özellikleriyle, genellikle yapıların kesişim yerlerinde kullanılan sert macunlardan farklıdır. Bu sebepten ötürü de, ısı izolasyonunun sağlanması, strüktürel basınç gibi problemlerde kullanılırlar. Püskürtücü ile, ya da etiket şeklinde satılırlar.

Püskürtülen akustik macunlar, önceden şekil verilmiş macunlardan daha kullanışlı olabilir. Çünkü, problem yaşanan bölgedeki bütün delikleri kapatabilirler. Ancak, önceden şekil verilmiş macunlar, elektrik, telefon çıkışları gibi kısımlarda daha kullanışlı ve etkilidir.

Eğer akustik macun boyanacaksa, boyayla uyumu araştırılmalı ve yangına dayanıklı macunlar tercih edilmelidir.

### 5.10.2 SESİ DOLAYLI OLARAK İLETEN GEÇİŞLERİN KAPATILMASI NIN ÖNE Mİ

Ses, bazı malzeme lerin açık yerlerinden geçebil di ği gi bi, dolaylı yollardan da geçebilir. Bu geçiş yolları, çatı odaları, sürekli duvarlar ya da döşe meler, havalandırma kanalları ve boru sızı ntıları, kırış lar, vb.' dir.

Ses izolasyonunun tam sa ğ lanması için, konstrüksiyonlardaki mevcut birleşim yerleri nin iyi çözül mesi, sızı ntı yapabilecek noktaların kapatıl ması gerekir. Zira, sesin geçti ği yollar engellenmezse, yapı ele manlarının ses iletim sınıflarını arttırma nın çok az ya da hiç etkisi ol mayacaktır. Konstrüksiyonun tipine göre alınacak önlemler de ği şir.

### 5.11. LABORATUVAR – ALAN SES İLETİ M Sİ Nİ Fİ

Çeşitli konstrüksiyonların ses iletim sınıfı, laboratuvar ölçümleri sonucu elde edilir. Laboratuvar ölçümlerinde, test edilen malzemenin bütün delikleri macunlanmış ve dolaylı ses geçişi yok farzedilmiştir. Gerçek bir inşaatta, macunlama laboratuvarda olduğu kadar iyi de ğil dir ve belli bir miktarda dolaylı ses geçişi söz konusudur.

Mevcut yapıda alınan ses iletim sınıfı (STC) ölçümlerine Alan Ses İletim Sınıfı (Field STC= FSTC) denir ve laboratuvar ölçümlerinden düşük de ğer dedir. [17]

$$FSTC \approx STC - (5 \text{ ile } 8 \text{ arası})$$

(5 6)

## 5.12. TAVAN SES İLETİM SINIFI

Yapılarda, tavanda, havalandırma kanalları ve buna benzer yapı servislerinin geçtiği kesintisiz boşluklar bulunabilir. Günümüzde genellikle modern ofis ve yönetim binalarında asma tavanlı bu tip sistemler kullanılmaktadır. Hafif bölme duvarlar, tavandaki bu boşlukları kesmeyi, ya asma tavanda sona ererler, ya da asma tavanı biraz geçerler. Bu sebepten ötürü, ses yalıtımının istendiği kısımlarda, tavanın ses geçiş kaybı önem kazanır.

Ofis yapılarının asma tavanları genellikle gözenekli ses yutucu malzemeden yapılır. Yüksek ses geçiş kaybı elde etmek için, ses yutucu malzemelerin arkasına ses yalıtım sağlayan alüminyumsaç gibi malzemeler tutturulur.

Tavanın ses geçiş kaybını veren sayısal dereceye Tavan Ses İletim Sınıfı (Ceiling Sound Transmission Class: CSTC) denir. STC'nin ölçme metotları ve frekans aralıkları CSTC içinde geçerlidir. Ancak CSTC, genişliği 5 dB'den oluşan gruplardan oluşur: 24-29, 30-34, 35-39 gibi. CSTC'si 33 olan bir tavan CSTC30 olarak adlandırılır. [17]

## 5.13. BİNA DIŞI – BİNA İÇİ İLETİM SINIFI

Malzemelerin ses geçiş kaybı performanslarını değerlendiren bir başka kriter de Bina Dışı – Bina İçi İletim Sınıfı (Outdoor – Indoor Transmission Class: OITC)'dir. OITC, bina dışındaki hava oluşumu gürültüye karşı, bina kabuğunun gösterdiği ses yalıtımını ölçer. Hava oluşumu dış gürültüler olan Havaalanı, tren yolu ve karayolu gürültülerinin ortalama sesinin ortalama alınarak, bina dışı gürültünün derecesi belirlenir.

Kompozit bir dış duvarın (duvar, pencere, kapı, vb. bileşenlerden oluşmuş) OITC değerini elde etmek, dBA düzeylerinin, dB düzeylerinden hesaplanmasına benzer. Çünkü dış gürültü düzeyi genellikle dBA şiddetinde hesaplanır ve dB'e çevrilir. OITC, STC ile aynı ses geçiş kaybı değerlerinden elde edilir, ancak frekans aralığı 80 Hz – 4 kHz

arasındadır. Frekans aralığının daha geniş olmasının sebebi, ulaşım gürültülerinin içeriğindeki düşük frekans yoğunluğundan kaynaklanır.

Sonuç olarak, ulaşım gürültüleri söz konusu olduğunda,  $C_{ITC}$ ,  $STC$ ’den daha sağlıklı bir değerlendirme ölçütüdür.  $STC$  ise, konuşma, radyo ve televizyon gibi gürültü kaynaklarına karşı, yapı malzemelerinin değerlendirilmesiinde daha sağlıklı sonuç verir.

## **5.14. HAVA OLUŞUMLU SESLERİN YALITIMI**

Yapı malzemelerinin ses yalıtımlarının incelenmesi için  $STC$  değerlerine bakılır.  $STC$  değerleri dışında, malzemelerin birleşim yerleriniyi çözülmüş olması, ses delikleri ve dolaylı ses iletimine meydan vermeyecek şekilde kapatılması gerekir. [17]

### **5.14.1. BETONARME DUVAR VE DÖŞEMELER**

Betonarme duvarlarda ve döşemelerde en sık kullanılan kalınlıklar 200 mm, 150 mm ve 100 mm’dir. 200 mm kalınlığında çakışma çukurunun olduğu frekans 100 Hz civarındadır. 100 mm için yaklaşık olarak 200 Hz ve 150 mm için de 150 Hz civarındadır. Genellikle 150 mm’den daha kalın olan betonarme sistemler kullanıldığı için, çakışma çukurunun olduğu frekanslar, kritik olan 125 Hz – 4kHz frekans aralığının aşağısında kalır.

Genel olarak, çakışma çukuru, betonarme sistemlerde kullanılan kalınlıklarda, ses geçiş kaybı – frekans ilişkisini etkilemez. Kütle kanununa uygun oluşan bu durum, sertlik söz konusu olduğunda değişir. Sertliğe bağlı olarak, ses geçiş kaybı değerleri, kütle kanunun öngördüğü artıştan daha düşük olarak artar. Her oktavda 6 dB’lik artış yerine 5 dB’lik bir artış olur.

Aşağıdaki formül, betonarme duvar ve döşemelerdeki ses geçiş kaybını bulmakta kullanılır:

$$TL = 16.5 \bullet (f \bullet m) - 35 \quad (5.7)$$

TL: Ses geçiş kaybı (dB)

f: Frekans (Hz)

m Birim alan kütlesi (kg / m<sup>2</sup>)

Yukarıdaki formül, en az 150 mm kalınlığında olan betonarme duvarlar ve döşemeler için kullanılır. 100 mm kalınlığındaki sistemlerde çakışma çukuru, kritik olan 125 - 4kHz aralığında olduğu için, ses geçiş kaybı değerleri daha düşüktür. Bu yüzden 100 mm kalınlığındaki betonarme duvar ve döşeme sistemleri için, yukarıdaki formülde 2dB'lik bir azaltı yapılır.

En az 150 mm kalınlığında olan betonarme sistemlerin ses iletimsi sınıfı (STC) değeri ise aşağıdaki formülle bulunur: [17]

$$STC = 16.5 \bullet \log(m) + 14 \quad (5.8)$$

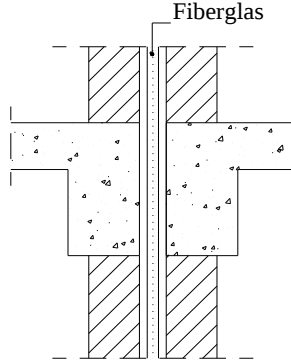
## 5.14.2 TEK TABAKA YIĞMA DUVARLAR

Yığma duvarların ses geçiş kaybı – frekans ilişkisi, kütle kanunu prensiplerine uyar. Ancak, yığma duvarlar, harç ve tuğla, taş gibi bileşenlerden olduğu için kompozittir ve belirli bir formülizasyona girilemez. Bu sistemlerde ses geçiş kaybını olumsuz etkileyen, blokları birleştiren harç, blokların gözenekli yapısı veya blokların ortasındaki deliklerdir. Harç ve blok birleşim yerleri de, ses geçişinde zayıf bölgeler olabilir.

Hafif beton blokların gözenekli yapısı ve ortalarındaki boşluk, ses geçiş kaybını olumsuz etkilediği gibi, harcın sürülmesini de zorlaştırabilir. Dar bir alana uygulanan harç,

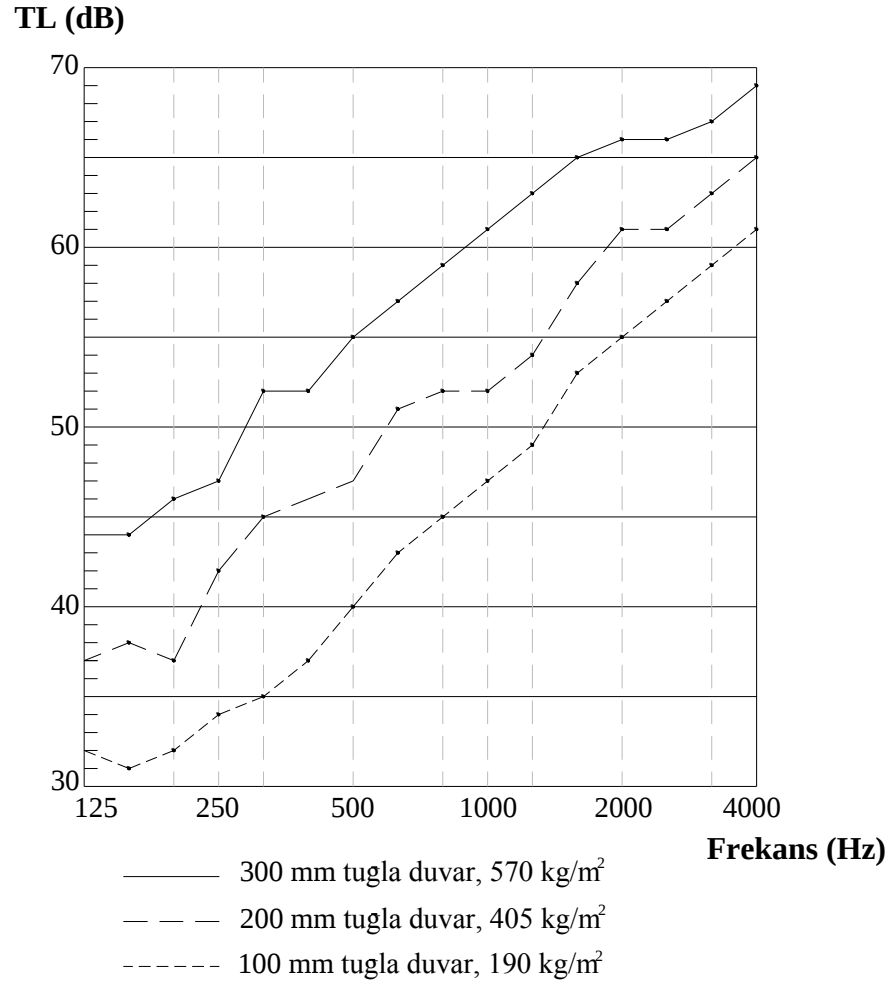
nitelikli işçiler tarafından harcı n uygulanmazsa, ses geçişi artar. Şekil 5. 10’ da harç uygulaması gösterilmiştir.

Tuğla kullanılan sistemlerde harç, tüm yüzeye yayıldığı için, ses geçişi azdır. Şekil 5. 10’ da harcı n uygulanması gösterilmiştir. Beton bloklarla oluşturulmuş bir duvar, aynı kalınlığa ve ağırlığa sahip tuğla duvarla karşılaştırıldığında görülecektir ki, tuğla duvar daha az ses geçirir ve daha iyi yalıtımsağlar.



Şekil 5. 10: Beton ve tuğla bloklara harcı n uygulanma şekli ( Mehmet M, Architectural Acoustics)

Aşağıda Şekil 5. 11’ de, 100 mm, 200 mm ve 300 mm kalınlığa sahip tuğla duvarının ses geçiş kaybı – frekans ilişkisi verilmiştir. Grafikten de anlaşıldığı gibi, çakışma çukuru 125 Hz – 4kHz frekans aralığında yoktur ve ses geçiş kaybı, frekans ve kalınlığa bağlı olarak artmaktadır.



Şekil 5. 11: 100 mm, 200 mm ve 300 mm kalınlığında üç tıptuğla duvarının ses geçiş kaybı-frekans ilişkisi. ( Melta M, Architectural Acoustics)

Kalın betonarme ya da yığma duvarlarda, çakışma çukurunun, kritik olan frekans aralığında oluşması, bu sistemleri iyi bir ses yalıtım sistemi kılar. Ağırlığın problem oluşturmadığı durumlarda, bu iki sistemler yapılar için tavsiye edilir. [17]

Genel olarak yığma sistemlerde yüksek ses geçiş kaybı istendiğinde yapılması gerekenler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır: [16]

1. Blokların üstü sağlam harçla sıvanmalı ve tüm birleşim yerleri doldurulmalı, gözenekler kapatılmalıdır.
2. Derzleri kum veya harçla kapatılmış, ağır veya orta ağırlıkta bloklar kullanılmalıdır.
3. Tüm elektrik tesisatı harç üzerine monte edilmelidir.

### 5.14.3. BOŞLUKLU YIĞMA DUVARLAR

Genel olarak boşluklu duvarlarda sesin iletim üç şekilde olur:

1. Duvar katmanlarını birleştiren döşeme sistemi ile ses iletilir.
2. Aradaki hava boşluğunun içinden ses iletilir.
3. Duvar katmanlarını birleştiren bağlantı elemanlarının ses köprüsü oluşturması ile ses iletilir.

Aradaki hava boşluğu dar olduğunda, düşük frekanslarda, boşluk rezonansı oluşur. Hava boşluklu duvar sistemlerinde rezonans frekansını saptamak için aşağıdaki formül kullanılır: [22]

$$f_{res} = 1.200 \cdot \sqrt{\frac{1}{m \cdot l}} \quad (5.9)$$

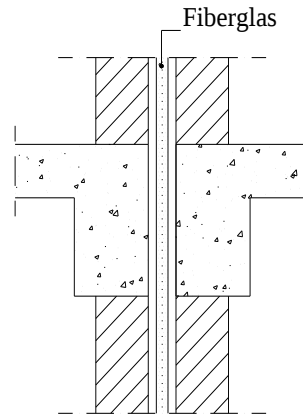
$f_{res}$  = Rezonans frekansı (Hz)

$m$  = İki duvarın toplam kütlesi (kg/ m<sup>2</sup>)

$l$  = Hava boşluğunun genişliği (cm)

Ancak, günümüzde sık olarak kullanılan boşluklu yığma duvarlar, aynı ağırlığa sahip tek duvarlardan daha iyi ses geçiş kaybına sahiptir. Ses yalıtımındaki bu artışın sebebi, hava boşluğunun, tabakaların birbirinden ayrılması sonucu oluşmasıdır. Yani neden değil, doğal sonuçtur.

Taşma sistemleri de dahil olmak üzere, birbirinden tamamen ayrılmış yığma sistemler üst derecede yalıtım sağlar. Bu sistemlerin hava boşluğunda gözenekli ses yutucu malzeme vardır ve aradaki hava boşluğunun artırılması, tabakaların ayrılmasını artırır. Boşlukta ses yutucu malzeme kullanımı, bu malzemenin titreşimsünümleri ci olması ve ses köprülerini engellemesi açısından gereklidir. Şekil 5.12’de, kesit olarak böyle bir sistemin çizimi verilmiştir.



Şekil 5.12: Strüktürel olarak bağımsız tabakalardan oluşmuş boşluklu duvar sistemi. (Mehta M, Architectural Acoustics)

Ancak günümüzde, maliyet ve diğer faktörler yüzünden bu sistem fazla kullanılmamaktadır. Çoğunlukla kullanılan boşluklu yığma duvar sistemi, birbirine ortak bir taşma sistemi ile bağlı olanlardır. İki duvarı birbirine bağlayan ara metal bağlantı parçaları vardır. Bu sistemlerde, ses yalıtımını iyileştirilmesi ve rezonansın oluşması için, aradaki hava boşluğu artırılabilir.

Hava boşluğunun artırılmasının bir sonucu olarak, iki tuğla duvarın birbirine çok yakın olması halinde, harçların boşlukta birbirine yapışması ve ses köprüsü oluşturmasıdır.

İdeal olan hava boşluğu genişliği 100 mm’dir. Genellikle kullanılan genişlik ise, 50 mm’dir ve aynı ağırlığa sahip tek yığma duvardan daha iyi bir ses geçiş kaybına sahiptir.

Duvar tabakalarını birbirine bağlayan metal bağlantılarını iki parçadan oluşması gerekir. Metal bağlantı, ortada birbirine çengel gibi geçen iki metal parçasından oluşmalıdır. Çünkü tek parça metal elemanlar ses köprüsü gibi çalışarak ses geçiş kaybını 7 dB'den fazla düşürürler. [17]

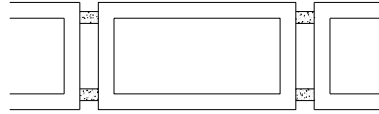
#### 5.14.4 KAPLAMALI YIĞMA DUVARLAR

Yığma duvarlara, metal ya da ahşap bağlantı parçalarıyla alçı paneller monte edilebilir. Bu sayede, yığma duvarın ses yalıtımını artırılır. Daha fazla yalıtım da, aradaki hava boşluğunda fiber glas kullanılarak ya da alçı panel ve duvar arasında esnek kanal kullanımıyla gerçekleşir. Esnek kanal, duvar ile alçının birbiriyle olan bağlantısını azaltarak ses köprüsü oluşmasını engeller ve tabakaların birbirinden daha bağımsız olmasını sağlar.

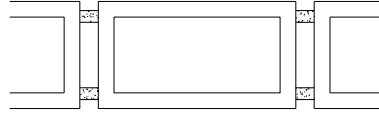
Örneğin 200 mm kalınlığındaki beton yığma duvarın STC değeri yaklaşık olarak 48'dir. Eğer alçı paneller, esnek kanal bağlantısıyla 50 mm x 50 mm ahşap dikeylerle beton duvara bağlanırsa ve boşluğa fiber glas kullanılırsa elde edilecek STC değeri 56 olur. Bu sistemi ki tarafta da uygulanırsa STC değeri artacaktır.

Alçı paneller, yığma duvara monte edilmeden, ayrı bir ahşap ya da metal taşıyıcı sistemi taşıtılsa iki bağımsız sistem oluşacağından, daha yüksek bir STC değeri elde edilir. Şekil 5.13'de, yığma duvarlara eklenecek kaplamalarla elde edilecek STC değerleri verilmiştir. Bu şekilden de STC değeriindeki artış anlaşılabilir.

Sonuç olarak bu sistem mevcut yığma duvarların ses geçiş kaybını arttırmada oldukça sık kullanılır. [17]



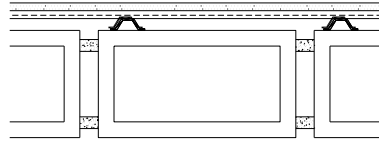
200 mm Boyasız bet on y ғma duvar  
STC 44



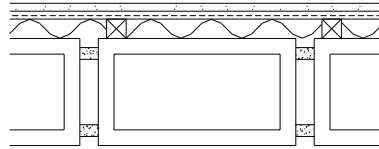
200 mm Boyalı bet on y ғma duvar  
STC 48



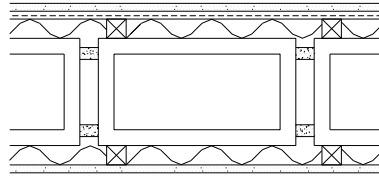
16 mm A ı panel  
200 mm Boyalı bet on y ғma duvar  
STC 52



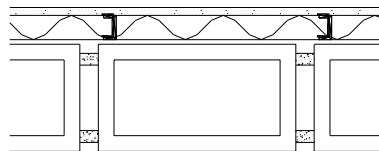
16 mm A ı panel, esnek kanal  
200 mm Boyalı bet on y ғma duvar  
STC 53



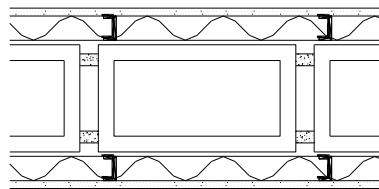
16 mm A ı panel, esnek kanal  
50 x 50 Ahşap d k nel er  
200 mm Boyalı bet on y ғma duvar  
STC 56



16 mm A ı panel, esnek kanal  
50 x 50 Ahşap d k nel er, 37 mm Ca myünü  
200 mm Boyalı bet on y ғma duvar  
50 x 50 Ahşap d k nel er, 37 mm Ca myünü  
16 mm A ı panel  
STC 59



16 mm A ı panel  
75 mm Ba ғı nsız metal d k meli duvar  
63 mm Ca myünü  
200 mm Boyalı bet on y ғma duvar  
STC 65



16 mm A ı panel  
75 mm Ba ғı nsız metal d k meli duvar  
63 mm Ca myünü  
200 mm Boyalı bet on y ғma duvar  
63 mm Ca myünü  
75 mm Ba ғı nsız metal d k meli duvar  
16 mm A ı panel  
STC 72

Şekil 5.13: Y ғma bir duvara çeşitli yollardan kaplama eklenerek ses izolasyonunun artırıl nası. ( M hta M, Architectural Acoustics)

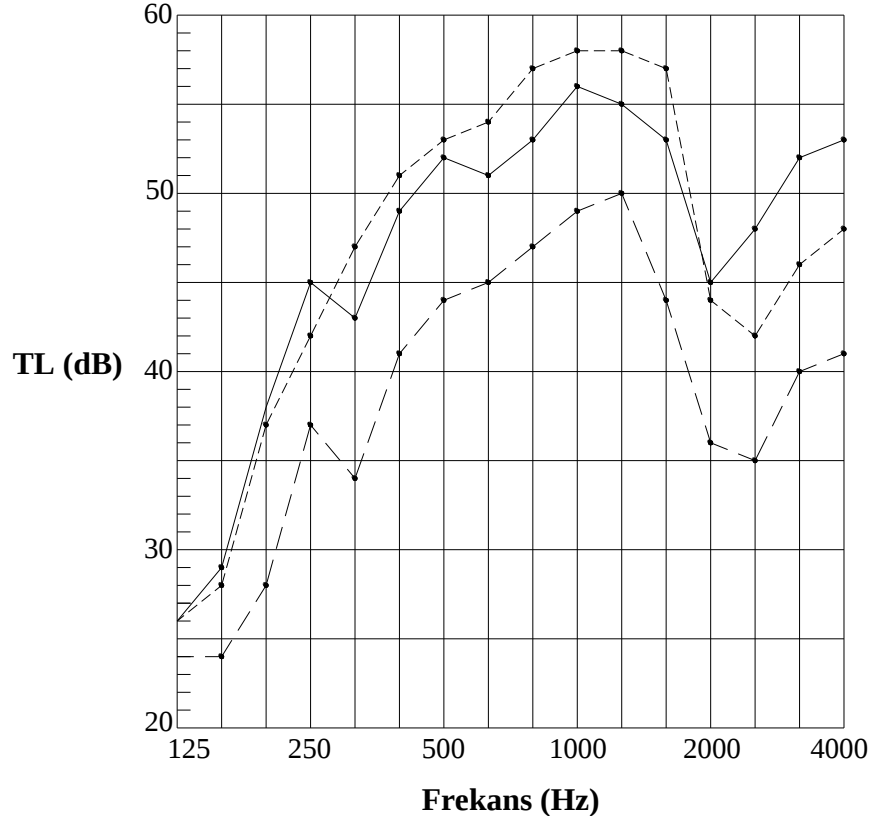
### 5.14.5. HAFİF ALÇI PANEL SİSTEMLER

Bu sistemlerde, iki alçı panel birbirinden hava boşluğuyla ayrılmıştır ve paneller birbirine diğnelerle bağlanır. Bu diğneler ahşap ya da metal olabilir.

Aşağıda, Şekil 5.14'te, üç tip alçı panel sistemin ses geçiş kaybı-frekans ilişkisi gösterilmiştir:

1. İki tarafta birer tabaka alçı panel olan sistem
2. İki tarafta birer tabaka alçı panel ve hava boşluğunda fiberğlas olan sistem
3. İki tarafta ikişer tabaka alçı panel olan sistem

Şekil 5.14'te görüldüğü gibi, 2 kHz – 2.5 kHz frekansları arasında, üç tipte de çakışma çukuru oluşmaktadır. Hava boşluğunda oluşan çakışma çukuru ise genellikle 100 Hz – 200 Hz frekansları arasındadır.



- 2 tabaka 16 mm alçı panel  
63 mm çelik dikmeler  
2 tabaka 16 mm alçı panel  
57 kg/ m<sup>2</sup>
- 16 mm alçı panel  
63 mm çelik dikmeler, fiber glas  
16 mm alçı panel  
31 kg/ m<sup>2</sup>
- - - - - 16 mm alçı panel  
63 mm çelik dikmeler  
16 mm alçı panel  
27 kg/ m<sup>2</sup>

Şekil 5.14: Alçı panel ve çelik dikmeli sistemlerin ses geçiş kaybı – frekans ilişkisi.  
(Mehmet M, Architectural Acoustics)

Her iki tarafta birer tabaka alçı panel kullanıldığında elde edilen ses iletim sınıfı değeri yeterli olmayabilir. Bu nedenden ötürü her iki tarafa birer panel koymaktan kaçınılmalıdır. [17]

Bu yapı sistemini daha iyi bir ses yalıtıcı haline getirmek için boşlukta ses yutucu malzemeler kullanılabilir. Boşluğa yerleştirilecek olan fiberğlas gibi bir ses yutucu malzeme STC değerini, ahşap dikneli sistemlerde 2-8, çelik dikneli sistemlerde 8-25 kadar artırır. Ses yutucu malzemeler en az 50 mm kalınlığında olmalıdır. [16]

Genel prensip olarak, tabakaları birbirinden ayırmak, ses geçiş kaybını, dolayısıyla da STC değerini artırır. Tabakalar birbirinden ayrılarak, iki ortam arasında oluşabilecek direkt ses yolunun da önüne geçilir. Alçı panel sistemlerde, alçı paneller ve onları birbirine bağlayan diknelerin arasına bir esnek çelik profil konularak bu sağlanabilir. Bu esnek kanal, dike ile alçı panel arasında ayırıcı görev görür. Genellikle tek tarafta kullanılır, ancak iki tarafta da kullanılabilir. İki tarafta kullanılması STC'de önemli bir artış oluşturmaz. Tablo 5.3'te bu durum görülmektedir.

Başka bir yöntemde, çift sıra dike kullanarak her alçı paneli ayrı olarak taşıtmak, ya da şaşırtılmış dike kullanmaktır. Şekil 5.15'de her iki sistemin detayı gösterilmektedir. [17]



Şekil 5.15: Şaşırtılmış dike ve çift sıra dike kullanılan sistemler. (Mehta M, Architectural Acoustics)

Taşıyıcı olan dike'nin malzeme seçimi de önemlidir. Ahşaptan ya da ağır çelikten daha yumuşak olan, hafif ayarlı çelik dike'ler kullanılmalıdır. Dikeylerin geniş olanları tercih edilmelidir. Çünkü derin boşluk ve tabakaların ayrılmasını sağladıklarından, düşük frekanslarda daha yüksek ses geçiş kaybı sağlarlar. Dikeylerin arasındaki mesafe

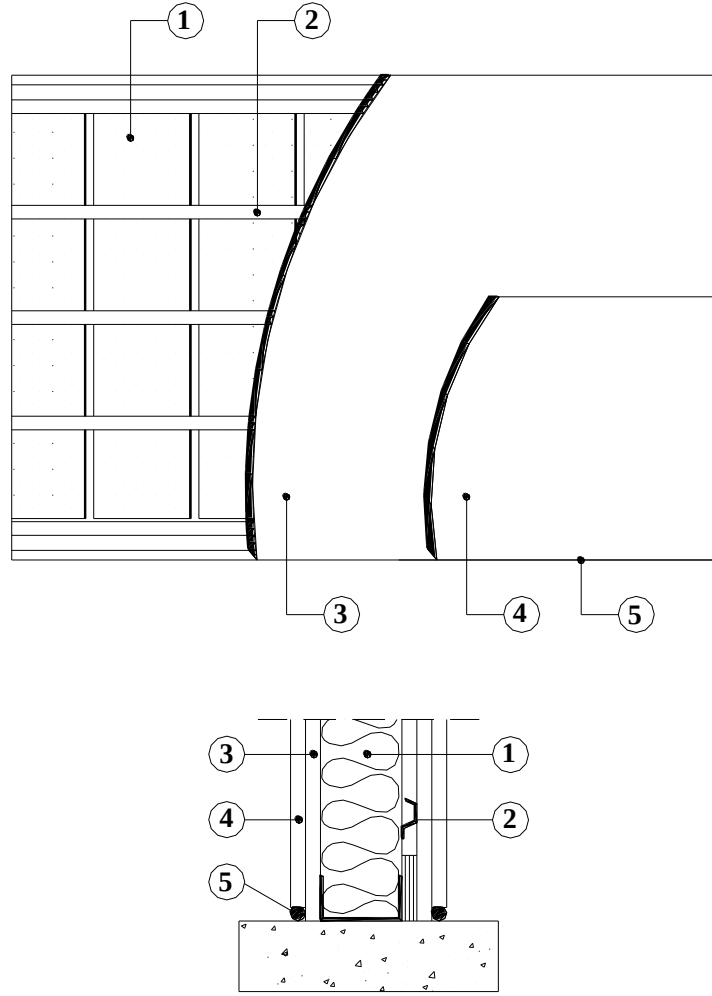
de en az 600 mm olmalı ve vidaları, üretici firma tavsiyelerine uygun yapılmalıdır. [16, 17]

Ahşap dikmeli sistemlerde, çeşitli kombinasyonlarla elde edilmiş STC değerleri aşağıda Tablo 5.3'te verilmiştir. Tablodaki değerlerden de anlaşıldığı üzere, boşlukta ses yutucu malzeme kullanımı ve taşıyıcı dikmeleri çift sıra kullanmak, STC değerini oldukça düşürür.

Tablo 5.3: 13 mm kalınlığında alçı panel ve ahşap dikmelerden oluşmuş çeşitli sistemlerin STC değerleri. (Mehmet M. Architectural Acoustics)

|                                  | Boşlukta Ses Yutucu   |     |     | Boşlukta Ses Yutucu   |     |     |
|----------------------------------|-----------------------|-----|-----|-----------------------|-----|-----|
|                                  | Malzeme Yok           |     |     | Malzeme Var           |     |     |
|                                  | Alçı Panel Tabakaları |     |     | Alçı Panel Tabakaları |     |     |
| Alçı Panellerin Taşıyıcı Sistemi | 1+1                   | 1+2 | 2+2 | 1+1                   | 1+2 | 2+2 |
| 38 mm x 90 mm ahşap dikmeler     | 37                    | 40  | 43  | 40                    | 43  | 46  |
| 38 mm x 90 mm ahşap dikmeler     | 40                    | 45  | 49  | 50                    | 53  | 57  |
| bir tarafta esnek kanal          |                       |     |     |                       |     |     |
| 38 mm x 90 mm ahşap dikmeler     | 41                    | 46  | 51  | 49                    | 53  | 58  |
| iki tarafta esnek kanal          |                       |     |     |                       |     |     |
| Şaşırtılmış 38 mm x 90 mm        | 41                    | 48  | 52  | 50                    | 54  | 58  |
| ahşap dikmeler                   |                       |     |     |                       |     |     |
| Aralarında 25 mm boşluk bulunan  | 46                    | 53  | 57  | 57                    | 61  | 63  |
| çift dikmeli duvar               |                       |     |     |                       |     |     |

Alçı panel duvar, döşeme, tavan ya da kesiştiği başka bir duvarla bağlantılı olmalıdır. Kesişim noktalarında açıklıklar bırakılmalı ve bu açıklıklar, sertleşmeyen akustik macunla doldurulmalıdır. Genel olarak bir alçı sistemin çizişi Şekil 5.16'da verilmiştir. [17]



1 Fiber g l a s

2 Esnek kanal

3 Birinci alçı panel tabakası

4 İkinci alçı panel tabakası

5 Akustik macun

Şekil 5.16: Alçı panel sistemin detayları. ( Mehmet M., Architectural Acoustics)

## **5.14.6 SES YALITIMI SAĞLAYAN PENCERELER**

Dış gürültü seviyelerinin yüksek olduğu ortamlarda ses yalıtımı sağlayan pencereler gerekmektedir. Ses yalıtımı sağlayan pencerelerin özellikleri, günümüzde sıkça kullanılan tek camdan oldukça farklıdır. STC değeri 55'e varan pencere sistemleri üretilmektedir.

Pencere ve kapı gibi açıklıklar, duvarın ses yalıtım performansını önemli ölçüde etkiler. Bu sebepten dolayı, malzemelerinin seçimi ve uygulanması büyük önem taşır.

### **5.14.6.1. HAVA AKIMININ KONTROLÜ**

Hava akımı ile pencerenin STC değeri arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Günümüzde enerji korunumu pencerelerin üretilmesiyle, pencerelerden hava akımının kontrolü yapılabilir. Hava akımının kontrolü, ses yalıtımını da iyileştirir.

Yüksek düzeyde ses yalıtımının istendiği durumlarda, açılabilen sabit pencereler tercih edilmelidir. Açılan pencereler, aynı konstrüksiyona sahip sabit pencerelerden daha düşük STC değerine sahiptir. Açılan pencerelerin kanatlarının birleşim yerlerinin sesi geçirir. Sürgülü pencereler ve sürgülü cam kapılar da, etkili şekilde macunlanmadığından sesi geçirir.

Bunların dışında, pencerenin duvara montajı da çok önemlidir. Özellikle sesi geçirmeyen ses yalıtımı sağlayan pencerelerin montajında, üretici firmaların önerileri dikkate alınmalıdır.

### **5.14.6.2. CAM KALINLIĞI VE LAMİNE CAM KULLANIMI**

Cam kalınlığı, ses yalıtımını oluşturan istenen pencerelerde oldukça önemlidir. Bunun sebebi camın kalınlığının arttıkça, kütlesinin artması ve buna bağlı olarak da daha yüksek ses yalıtımı sağlanmasıdır. Ancak çakışma çukurunun varlığı yüzünden, STC'deki artış, kütle kanununa göre beklenen değerden daha düşüktür.

Aşağıda, Tablo 5.4’de, tek camlı pencerelerin, çeşitli kalınlıklara göre STC değerleri verilmiştir. [17]

Tablo 5.4: Tek camlı pencerelerin, cam kalınlığına bağlı olarak STC değerleri. (Mehmet M., Architectural Acoustics)

| Cam Kalınlığı (mm) | STC |
|--------------------|-----|
| 3                  | 29  |
| 6                  | 31  |
| 9                  | 32  |
| 13                 | 33  |
| 25                 | 37  |

Lamine cam kullanıldığında, yukarıdaki tablodaki STC değerlerine 3 fazlası eklenmelidir. Çünkü lamine cam rezonans etkisini bastırır ve daha yüksek ses geçiş kaybına sahiptir. [16]

#### 5.14.6.3 ÇİFT CAM KULLANIMI

Çift camlı pencere kullanımı, tek camlı pencere kullanımdan, akustik açıdan daha iyidir. Ancak, aradaki hava boşluğunun 25 mm’den az olması gerekir. Çünkü boşluk derinliği az olduğunda, boşluktaki havadan kaynaklanan çakışma çukuru oluşur ve çift camlı pencerenin performansı, tek camlı pencereden düşük olur.

Aradaki hava boşluğunun genişliğinin artırılması ve camların kalınlaştırılmasıyla, boşluk rezonansının frekansı, kritik frekans aralığının dışına çıkacaktır. Camlar arası mesafe 150 mm’den fazla artırılabilir. [17]

Çift camlı sistemlerde, cam kalınlıklarının farklı olması lazımdır. Çünkü bu sayede farklı çakışma çukurlarına sahip olurlar ve çakışma çukurunun çift etkisi azalır. Camların birinin lamine cam olması STC değerini 4 derece artırır. Soğuk iklimlerde, iç tabakamın dış tabakaya ileteceği ses basıncı, dış tabakamın STC’sini düşürecektir. Isı faktörü gözönünde bulundurularak, çift camlarda lamine camı csak tarafa yerleştirilmelidir. [16]

Aşağıda, Tablo 5.5’de, çeşitli çift camlı pencerelerin, kalınlıkları ve STC dereceleri verilmiştir.

Tablo 5.5: Çeşitli çift camlı pencere sistemlerinin STC değerleri. (Mehra M, Architectural Acoustics)

| Cam Kalınlığı (mm) |        | Hava Boşluğu | STC |
|--------------------|--------|--------------|-----|
| 1. Cam             | 2. Cam | (mm)         |     |
| 3                  | 3      | 6            | 26  |
| 3                  | 3      | 50           | 42  |
| 3                  | 6      | 100          | 43  |
| 6                  | 6      | 100          | 44  |
| 6                  | 6      | 200          | 46  |
| 9                  | 9      | 200          | 50  |
| 13                 | 13     | 200          | 52  |

Yüksek ses geçiş kaybı istenen durumlarda, hafif pencere çerçeveleri kullanılmalıdır. Aynı zamanda, çift camlı sistemlerde, her camın ayrı çerçeveye sahip olması ses geçiş kaybını artırır. Çerçeveler duvara, yumuşak neopren kenar contalarıyla tutturulmalıdır. Bu, genelde kullanılan sert maddelerden daha iyi bir çözümdür. [16]

#### 5.14.6.4 PENCERENİN İÇ KESİMİNİN SES YUTUCU MALZEMEYLE KAPLANMASI

Pencere çerçevesinin iç kısmının ses yutucu malzemeyle kaplanması, ses geçiş kaybını artırır. Çift camlı pencerelerde, aradaki hava boşluğunda, alt ve üst kısımlar, fiber glas ya da taş yünü gibi ses yutucu bir malzemeyle kaplanırsa, STC değeri 3 derece artacaktır. Genellikle ses yutucu malzemenin üstü delikli metal ya da vinille kaplanır.

#### **5.14.6.5 PENCERELERİN SES YALITIMINDA OİTC VE STC FARKI**

STC, genellikle konuşma kaynaklı gürültülerin değerlendirilmesinde iyi bir faktördür. OİTC ise dış trafik gürültüsünde iyi bir değerlendirme sunar. Pencere dış cephelerde bulunduğundan, sadece STC kriterine bağlı bir değerlendirme yapmak hatalı olabilir. Trafik gürültüsü, düşük frekanslı ses içerdiğinden ötürü, pencerelerin ses yalıtım açısından değerlendirilmesi ve karşılaştırılmasında, OİTC daha iyi bir araçtır. Günümüzde, ses yalıtımlı pencere üreticileri, pencerelerin hem STC hem de OİTC değerlerini sunar.

#### **5.14.7. SES YALITIM SAĞLAYAN KAPILAR**

Kapılar ses yalıtım açısından zayıf yapı elemanlarıdır. İçi boş ahşap bir kapının STC değeri sadece 17, içi dolu bir ahşap kapınsa 20'dir. Bu sebeple, yüksek ses yalıtım istenen cephelerde ve duvarlarda, mümkün olduğunca kapıdan kaçınılmalıdır. [17]

Ses geçişi istenmeyen bölgelerdeki kapılar, günümüzde sıkça kullanılan kapılardan farklı olmalıdır. Ses bariyeri olabilmesi için, kapının ağır olması ve etrafının hava geçirmez şekilde kapatılmış olması gerekir. Kapıların malzemesi uygun olduğunda, ağırlığı artırıldıkça yapılacak değişimlerin STC'ye çok fazla olumlu bir etkisi olmaz. İçli lifli malzemeler ya da kurşun kaplı metal kapılar, ahşap kapılardan daha yüksek STC performansına sahiptir. Mevcut kapıların ses yalıtım açısından iyileştirilmesi gerektiğinde, kapı, içten ince kurşun bir levhayla kaplanır. Aşağıda Tablo 5.6'da, çeşitli kapı tiplerinin yaklaşık olarak STC dereceleri verilmiştir. [16, 17]

Tablo 5. 6. Çeşitli kapı tiplerinin STC değerleri. (Mehta M, Architectural Acoustics)

| Kapı Tipi                                                                                                     | Yüzey Ağırlığı<br>(kg / m <sup>2</sup> ) | STC<br>Dolgunsuz | STC<br>Dolgulu |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------|----------------|
| İçi boşluklu ahşap kapı                                                                                       | 7                                        | 17               | 20             |
| İçi dolu ahşap kapı                                                                                           | 20                                       | 20               | 28             |
| İçi boşluklu çelik kapı                                                                                       | 25                                       | 20               | 30             |
| İki adet içi dolu ahşap kapı<br>ya da iki adet içi boşluklu<br>çelik kapı, aralarında 70 mm<br>hava boşluklu  | 20                                       | 28               | 40             |
| İki adet içi dolu ahşap kapı<br>ya da iki adet içi boşluklu<br>çelik kapı, aralarında<br>230 mm hava boşluklu | 20                                       | 42               | 50             |

Kapı, açılır bir eleman olduğundan ötürü, kapı ve kasasının birleşim yerlerindeki contalar, menteşeler ve kapının alt ve üst boşlukları önemlidir. Kauçuk ve neopren contalar, kapı ve kasasının arasına yerleştirilebilir. Fakat, bunların zamanla yenilenmesi gerekir.

Kapı eşiği mevcutsa, kauçuk ve neopren macunlar faydalıdır. Ancak eşik yoksa, döşeme üzerinde iz bırakacaklardır. Günümüzde yeni geliştirilen bir sistemde otomatik olarak kapatan macunlardır. Kapı açıkken yukarıda olan macun, kapı kapatıldığında yere inerek kapı altını kapatır. Başka bir yöntemde, otomatik menteşelerdir. Kapı açıkken menteşeler yukarıdadır. Kapı kapanırken menteşe aşağıya iner ve kapının alt kısmındaki macun, eşiğin üstüne gelerek boşluğu kapatır. [17]

Yapı içi planlamada, ses istenmeyen mekanlara girişlerde, kısa koridorlar ve antreler ses emniyetliği olarak kullanılmalıdır. Yani mekanın dışında, küçük bir hacim geçiş bölgesi görevi görür ve iki kapı konularak ses geçişi engellenir. Eğer böyle bir bölge için yeterli alan yoksa, çift kapı birarada konulabilir. [16, 17]

Camlı kapılarda, ses geçiş kaybı için, belli bir alanın üstünde pencere konmalıdır. Cam kısmın özellikleri, pencere sistemleri ile aynı özellikleri taşımalıdır. [17]

## **BÖLÜM 6. YAPI ELEMANLARINI GÜRÜLTÜ AÇISI NDAN DEĞERLENDİRMEK İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER**

### **6.1. GİRİŞ**

Bu bölümde, tezin amacı nı oluşturan, yapı kabuğunun ses yalıtı mın n ölçül mesinde kullanılan kuramsal ve deneysel yöntem anlatıl mıştır. Kuramsal olarak kullanılan yöntem ifade edil menden önce, katı cisi mlerde ses dalgalarının yayılı m ve ses hızı nın hesaplanması gi bi temel konular ele alınmış, kuramsal yöntem olarak sonuçlandırılan bağı ntıların ortaya çıkış noktaları anlatıl mıştır. Daha sonra deneysel yönteme değ inil miş, yapılan deneyin temelini oluşturan esaslar izah edil miş, deneyin yapılı ş şekli ve kullanılan aletler ortaya kon muştur.

### **6.2. KURAMSAL YÖNTEM**

Deneysel olarak ölçümü yapılmış olan yapı kabukları, kompozit yapı dır. Yani, pencere, kapı ve duvar gi bi ayrı yapı bileşenlerinden oluşan yapı kabukları sözkonusudur. Kuramsal yöntemde kullanılacak kriterler bu bölümde açıklanmıştır.

Yapı bileşenlerini n sese karşı verdiğ i tepki, akustik bili minin kapsamına girer. Ses, yapı strükt ürüne güç iletir. Bu güç, yapı strükt ürünün bağı lı olduğu diğer yapı bileşenlerine ve havaya iletir.

### 6.2.1. KATI CİSİ MLERDE SES DALGALARININ YAYILI MI

Yapı bileşenlerinde, uzunluğuna dal galar, kesme dal gaları, bükme dal gaları ve eğilme dal gaları olmak üzere görülen dört tip dalga türü Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Bu dal galar, cisme kuvvet uygulanış türüne göre değişik tiplere ayrılır. [20]



Şekil 6.1: Ses Dalgalarının Türleri (Beranek, Noise and Vibration Control)

### 6.2.2. SESİN HIZI

Ses dalgalarının tiplerine göre ses hızının hesaplanması farklıdır. Eğilme dalgalarında ses hızı, frekansa bağlıdır. Bu nedenle ses katı cisimden geçerken, ses dalgasının şekli değişir.

Yapı bileşenlerinde ses iletimi gerçekleşirken oluşan eğilme dalgalarının azalımı, kompleks eğilme sertliğine ( $\bar{B}$ ) bağlıdır. Birim genişlikte oluşan eğilme sertliği ( $B$ ), aşağıdaki formülle bulunur. [20]

$$B = \frac{E \cdot (d)^3}{12} \text{ N m} \quad (6.1)$$

$E$  = Elastikiyet modülü,  $\text{N/m}^2$

$d$  = Yapı bileşeninin kalınlığı,  $\text{m}$

Elastikiyet modülü (Young Modülü), bir malana uygulanan kuvvet olan basıncın, birim uzunuktaki uzunluk değişimine oranıdır.

Yapı bileşenlerinde oluşan uzunluğuna dalgalarda ses hızı, aşağıdaki formülle bulunur. [20]

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho_m(1-\sigma)^2}} \text{ } \Lambda \text{ } \Lambda \text{ } m/s \quad (6.2)$$

$E$  = Hastikiyet modülü,  $N/m^2$

$\rho_m$  = Yapı bileşeninin yoğunluğu,  $kg/m^3$

$\sigma$  = Poisson oranı

Poisson oranı, bina strüktüründe kullanılan yapı malzemeleri için 0.3 değerinde, kauçuk tarzı malzemeler için 0.5 değerinde alınır.

Yapı bileşenlerinde oluşan kesme dalgalarında ses hızı, aşağıdaki formülle bulunur. [20]

$$c_s = \sqrt{\frac{G}{\rho_m}} \text{ } \Lambda \text{ } \Lambda \text{ } m/s \quad (6.3)$$

$G$  = Kesme modülü,  $N/m^2$

$\rho_m$  = Yapı bileşeninin yoğunluğu,  $kg/m^3$

Kesme modülü ( $G$ ), kesme oluşturan basınçın, kesme gerilimine oranıdır.

Yapı bileşenlerinde oluşan bükme dalgalarında ses hızı, aşağıdaki formülle bulunur. [20]

$$c_T = \sqrt{\frac{GK}{\rho_m I}} \text{ } \Lambda \text{ } \Lambda \text{ } m/s \quad (6.4)$$

$G$  = Kesme modülü,  $N/m^2$

$K$  = Bükme sertliği,  $m^4$

$\rho_m$  = Yapı bileşeni nin yoğunluğu, kg / m<sup>3</sup>

I = Kutupsal moment, m<sup>4</sup>

Yapı bileşenlerinde oluşan eğilme dalgalarında ses hızı, aşağıdaki formülle bulunur. [20]

$$c_B = \sqrt[4]{\frac{(2 \cdot \Pi \cdot f) B}{\rho_s}} \text{ m/s} \quad (6.5)$$

f = Sesi n frekansı, Hz

B = Yapı bileşeni nin eğilme sertliği, Nm

$\rho_s$  = Yapı bileşeni nin alan ağırlığı, kg / m<sup>2</sup>

### 6.2.3. KRİTİK FREKANS

Yapı bileşeni nin yakınında oluşan hava basıncı, bileşeni n titreşim hızının tersi yönündedir. Bileşene paralel ses alanı bileşenle aynı alansal periyodikli ğe sahiptir. Dolayısıyla, bu ses alanında oluşan ses şiddeti ve ses dalgası miktarı (k), bileşeni n ses dalgası sayısına (k<sub>b</sub>) ve frekansına bağlıdır.

Genel olarak üç tip frekans bölgesi vardır.

1. Yapı bileşeni nde oluşan eğilme dalgasının hızının, havadaki ses hızından büyük olduğu durum (c<sub>b</sub> > c) (k<sub>b</sub> < k).
2. Yapı bileşeni nde oluşan eğilme dalgasının hızının, havadaki ses hızına eşit olduğu durum (c<sub>b</sub> = c) (k<sub>b</sub> = k).
3. Yapı bileşeni nde oluşan eğilme dalgasının hızının, havadaki ses hızından küçük olduğu durum (c<sub>b</sub> < c) (k<sub>b</sub> > k).

Kritik frekans (f<sub>c</sub>), havadaki sesi n dalga boyunun, yapı bileşeni ni n eğilme dalgasına eşit olması durumunda oluşur (k<sub>b</sub> = k) (c<sub>b</sub> = c). Kritik frekansta, ses, yapı elemanı ndan direk olarak geçer. Kritik frekans, aşağıdaki formülle bulunur. [20]

$$f_c = \frac{c^2}{1.8c_L d} \Lambda \Lambda \Lambda \text{ Hz} \quad (6.6)$$

c = Havadaki ses hızı, m/ s

c<sub>L</sub> = Uzunlamasına oluşan dalgaların hızı, m/ s

d = Yapı bileşeni nin kalınlığı, m

#### 6.2.4 REZONANS FREKANSI

Yapı malzemesi üzerine gelen ses dalgalarının frekansı, malzemenin rezonans oluşan doğal frekansıyla çakışırsa ses geçiş kaybı düşer. Dolayısıyla malzemenin ses iletimi artar. Rezonansın olduğu en düşük frekansın iki katındaki frekansa kadar rezonanslar devam eder. Rezonans frekansı (f<sub>nm</sub>) aşağıdaki formülle bulunabilir. [20]

$$f_{nm} = 0.45 \cdot c_L \cdot d \cdot \left[ \left( \frac{n}{l_x} \right)^2 + \left( \frac{m}{l_y} \right)^2 \right] \Lambda \Lambda \Lambda \text{ Hz} \quad (6.7)$$

c<sub>L</sub> = Uzunlamasına oluşan dalgaların hızı, m/ s

d = Yapı bileşeni nin kalınlığı, m

l<sub>x</sub> = Yapı bileşeni nin eni, m

l<sub>y</sub> = Yapı bileşeni nin boyu, m

n = x eksenine doğrultusunda oluşan rezonans sayısı

m = y eksenine doğrultusunda oluşan rezonans sayısı

Literatürde, hava boşluklu çift tabakalı duvarlarda oluşan rezonans frekansının bulunmasında pratik olarak aşağıdaki formül de kullanılmaktadır. [21]

$$f_{res} = 1.2 \sqrt{\frac{1}{ml}} \Lambda \text{ Hz} \quad (6.8)$$

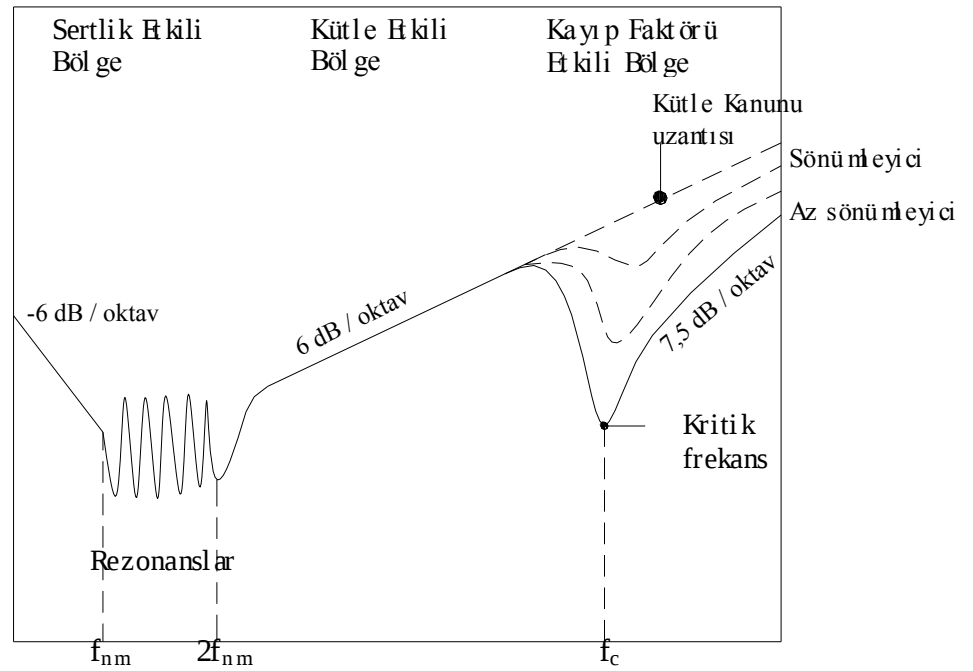
f<sub>res</sub> = Rezonans frekansı, Hz

$m$  = İki duvarın toplam alan ağırlığı,  $\text{kg/m}^2$

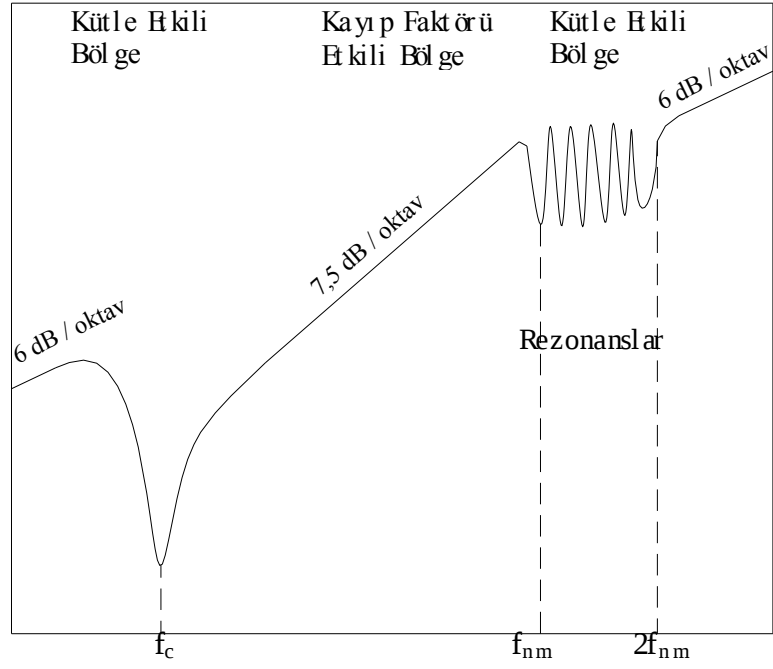
$l$  = Hava boşluğunun genişliği,  $\text{cm}$

## 6.2.5 TEK TABAKALI ELEMANLARIN SES GEÇİŞ KAYBI NIN HESAPLANMASI

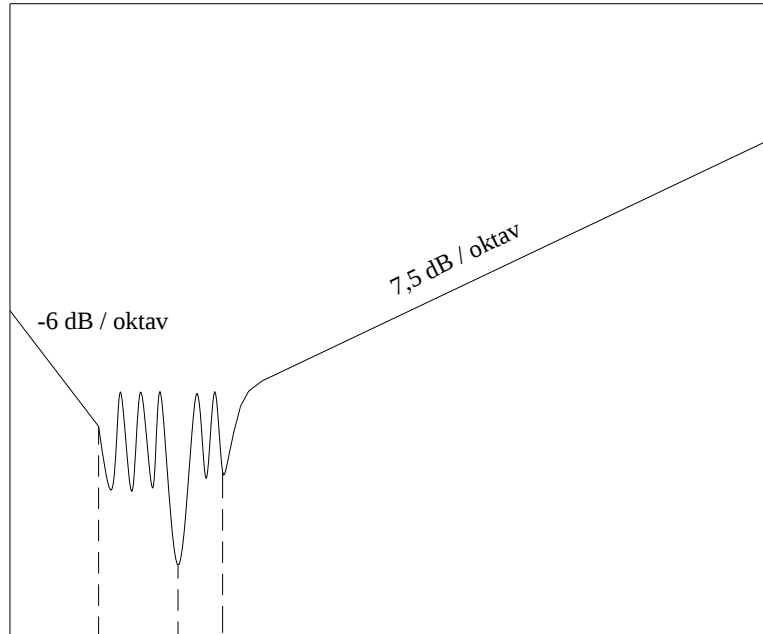
Tek tabakalı bir eleman, tuğla, betonarme blok, alçı panel gibi homojen bir malzeme den oluşur. Ses geçiş kaybı değerleri, tüm oktav band frekansları (63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz.) için hesaplanır. Yapı elemanının kritik frekansı ve rezonans frekansı arasındaki ilişkiler de ses geçiş kaybı değerlerini etkiler. Bölüm 5'te anlatılmış olan ses geçiş kaybı – frekans ilişkisi, yapı elemanının özelliklerine göre 3 tip olabilir. Kritik frekans – rezonans frekansı arasındaki ilişkilere bağlı olarak oluşan bu durumlar, Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te gösterilmiştir.



Şekil 6.2  $f_c > 2f_{nm}$  olduğunda Ses Geçiş Kaybı – Frekans İlişkisi



Şekil 6.3  $f_c < f_{nm}$  olduğunda Ses Geçiş Kaybı – Frekans İlişkisi



Şekil 6.4  $f_{nm} < f_c < 2f_{nm}$  olduğunda Ses Geçiş Kaybı – Frekans İlişkisi

Yapı elemanının ses geçiş katsayısı ( $\tau$ ), iletilen akustik gücün, mevcut akustik güce oranıdır. belirli bir açıda gelen, yüzey dalgalı oluşumlar için ses geçiş katsayısı, aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır. [20]

$$\tau(\theta) = \frac{W_i}{W_g} = \frac{I_i}{I_g} = \frac{|P_g^2|}{|P_i^2|} \quad (6.9)$$

$W$  = Yapı elemanından iletilen güç, Watt

$W_g$  = Yapı elemanına gelen güç, Watt

$I_i$  = Yapı elemanından iletilen ses şiddeti, Watt / m<sup>2</sup>

$I_g$  = Yapı elemanına gelen ses şiddeti, Watt / m<sup>2</sup>

$P_i$  = Yapı elemanından iletilen ses basıncı, N/ m<sup>2</sup>

$P_g$  = Yapı elemanına gelen ses basıncı, N/ m<sup>2</sup>

$$\tau(\theta) = \left\{ \frac{\left[ 1 + \eta \cdot \left( \frac{\omega \rho_s}{2 \rho \cdot c} \cos \theta \right) \cdot \left( \frac{\omega^2 B}{c^4 \rho_s} \sin^4 \theta \right) \right]^2}{\left[ \left( \frac{\omega \rho_s}{2 \rho \cdot c} \cos \theta \right) \cdot \left( 1 - \frac{\omega^2 B}{c^4 \rho_s} \sin^4 \theta \right) \right]^2} + \right\} \quad (6.10)$$

$\eta$  = Yapı elemanının kayıp faktörü

$\rho$  = Yapı elemanının yoğunluğu, kg/ m<sup>3</sup>

$\rho_s$  = Yapı elemanının alan ağırlığı, kg/ m<sup>2</sup>

$c$  = Sesin havadaki hızı, m/ s

$\theta$  = Sesin geliş açısı

$B$  = Yapı elemanının eğilme sertliği, Nm

Çınlayan ses alanında yapı elemanının ses geçiş katsayısı ise aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$\tau = \frac{\int_0^{\theta_{\lim}} \tau(\theta) \cos \theta \cdot \sin \theta \cdot d\theta}{\int_0^{\theta_{\lim}} \cos \theta \cdot \sin \theta \cdot d\theta} \quad (6.11)$$

$\theta$  = Sesi n geliş açısı

$\theta_{\lim}$  = Ses alanında oluşan sınır açısı

$\theta_{\lim}$  genellikle  $\Pi/2$  ya da  $90^\circ$  alınır.

Tek tabakalı bir elemanın ses geçiş kaybının, ses geçiş katsayısına bağlı olarak hesaplanması aşağıdaki bağıntıdadır.

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} \Lambda \Lambda \Lambda \text{ dB} \quad (6.12)$$

Daha önce 5. Bölümde anlatıldığı üzere, tek tabakalı bir elemanın ses geçiş kaybı – frekans ilişkisi genel olarak üç frekans bölgesine ayrılmaktadır. Kütle Et kili Bölgede Kütle Kanunu geçerlidir. Kütle Kanunu’na göre, tek tabakalı bir elemanın ses geçiş kaybı, elemanın alan ağırlığına bağlıdır. Kütle Kanunu, rezonans frekansı ve kritik frekans arasındaki frekans aralığında geçerlidir. Bu frekans aralığında, frekansın ya da alan ağırlığının iki katına çıkmasıyla, elemanın sağladığı ses geçiş kaybı 6 dB artar. [17, 20]

Kütle Kanunu’nun geçerli olduğu bölgede, yani kritik frekanstan daha düşük frekanslarda, tek tabakalı bir yapı elemanının  $\theta$  açısında oluşan ses geçiş kaybı, aşağıdaki formülle ifade edilir. [20]

$$R(\theta) \approx 10 \log \left[ 1 + \left( \frac{\omega \rho_s}{2 \rho \cdot c} \cos \theta \right)^2 \right] \Lambda \Lambda \Lambda \text{ dB} \quad (6.13)$$

$\rho$  = Yapı elemanının yoğunluğu, kg / m<sup>3</sup>

$\rho_s$  = Yapı elemanının alan ağırlığı, kg / m<sup>2</sup>

$c$  = Sesi n havadaki hızı, m / s

Yukarıdaki bağıntı, Kütle Kanunu'na Bağlı Yu muşak Duvar Ses Geçiş Kaybı olarak da adlandırılır. Çünkü duvarın ses geçiş kaybı, duvarı oluşturan yapı malzemesinin alan ağırlığı na bağılıdır.

Kütle Kanunu'na Bağlı Nor mal Ses Geçiş Kaybı ( $R_0$ ),  $\theta$  açısı 0° ol duğunda ol uşur ve aşağıdaki for mülle hesaplanır. [20]

$$R_0 = 10 \log \left[ 1 + \left( \frac{\omega \rho_s}{2 \rho \cdot c} \right)^2 \right] \Lambda \Lambda \Lambda \text{ dB} \quad (6.14)$$

$\rho$  = Yapı elemanının yoğunluğu, kg / m<sup>3</sup>

$\rho_s$  = Yapı elemanının alan ağırlığı, kg / m<sup>2</sup>

$c$  = Sesi n havadaki hızı, m / s

$R_0 > 15$  dB ise, 6.13 for mül ündeki  $\theta$  açısı 0 ile 90 derece arasında oranlanabilir ve Kütle Kanunu'na Bağlı Rastlantısal Ses Geçiş Kaybı ( $R_r$ ) elde edilir. Rastlantısal Ses Geçiş Kaybı aşağıdaki şekil de hesaplanır. [20]

$$R_r = R_0 - 10 \log(0.23 R_0) \Lambda \Lambda \Lambda \text{ dB} \quad (6.15)$$

$R_0$  = Kütle Kanunu'na Bağlı Nor mal Ses Geçiş Kaybı, dB

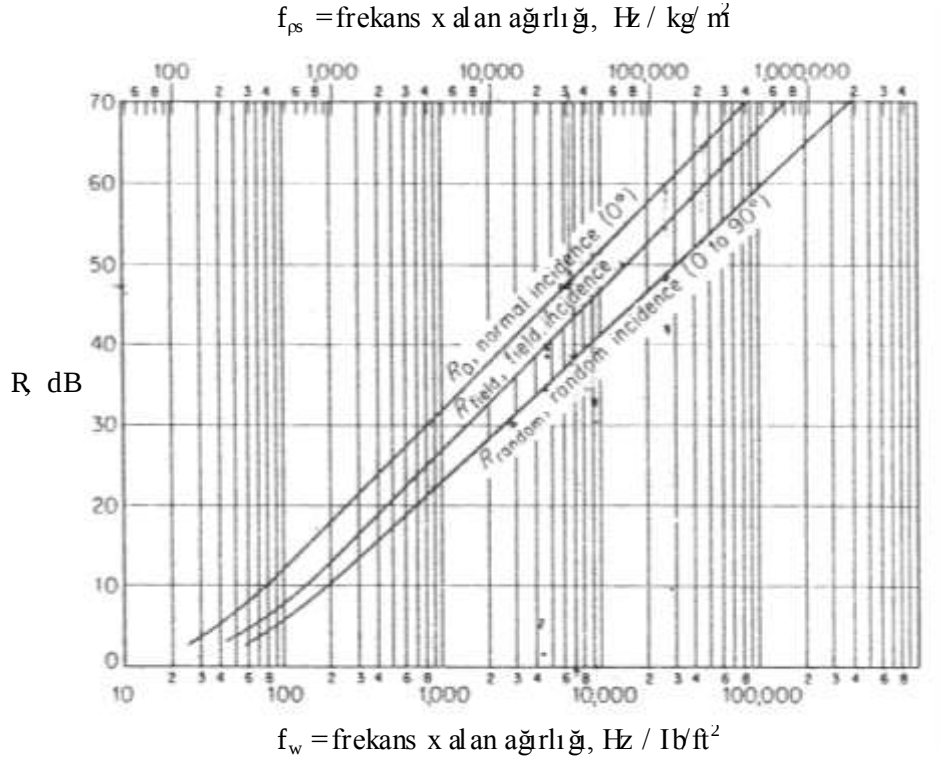
Günümüzde, Kütle Kanunu'na Bağlı Alansal Ses Geçiş Kaybı ( $R_f$ ) kullanılmaktadır. Nor mal Ses Geçiş Kaybı, yapı elemanının, ideal laboratuar koşullarındaki ses geçiş kaybı değerini ver mektedir. Alansal Ses Geçiş Kaybı ise, yapı elemanının gerçek ortam koşullarındaki değerine yaklaşık bir değer verir. Gerçek ortamdaki yapı elemanının ses

geçiş kaybı, laboratuvar ortamındaki ses geçiş kaybından daha düşük olacaktır. Kütle Kanunu'na Bağlı Alanal Ses Geçiş Kaybı aşağıdaki formülle hesaplanır. [20]

$$R_f = R_0 - 5dB \Delta \Delta dB \quad (6.16)$$

$R_0$  = Kütle Kanunu'na Bağlı Normal Ses Geçiş Kaybı, dB

Bu formül, 6.11 formülündeki  $(\theta_{im})$  açısı  $78^\circ$  olduğu zaman geçerlidir. Aşağıda, Şekil 6.5'de, yukarıda anlatılan üç tip ses geçiş kaybı değerleri, frekansla (f) alan ağırlığının ( $\rho_s$ ) çarpımına bağlı olarak gösterilmiştir. Hesaplamalarda istenilirse bu grafikten yararlanılabilir.



Şekil 6. 5: Kütle Kontrollü Yapı Elemanlarında Kuramsal Ses Geçiş Kaybı Eğrileri (Beranek, Noise and Vibration Control)

Kütle Kanununa bağlı olarak, tek tabakalı bir elemanın Alanal Ses Geçiş Kaybı ( $R_f$ ) aşağıdaki bağıntıyla da hesaplanabilir. Bu formül, Şekil 6.5'deki hesaplamalarla ve 6.16 formül üyle aynı sonucu vermektedir ve daha pratik, hızlı sonuç alınmaktadır. [17]

$$R = 20 \cdot \log(f \cdot m) - 47 \text{ dB} \quad (6.17)$$

$R$  = Tek tabakalı elemanın ses geçiş kaybı, dB

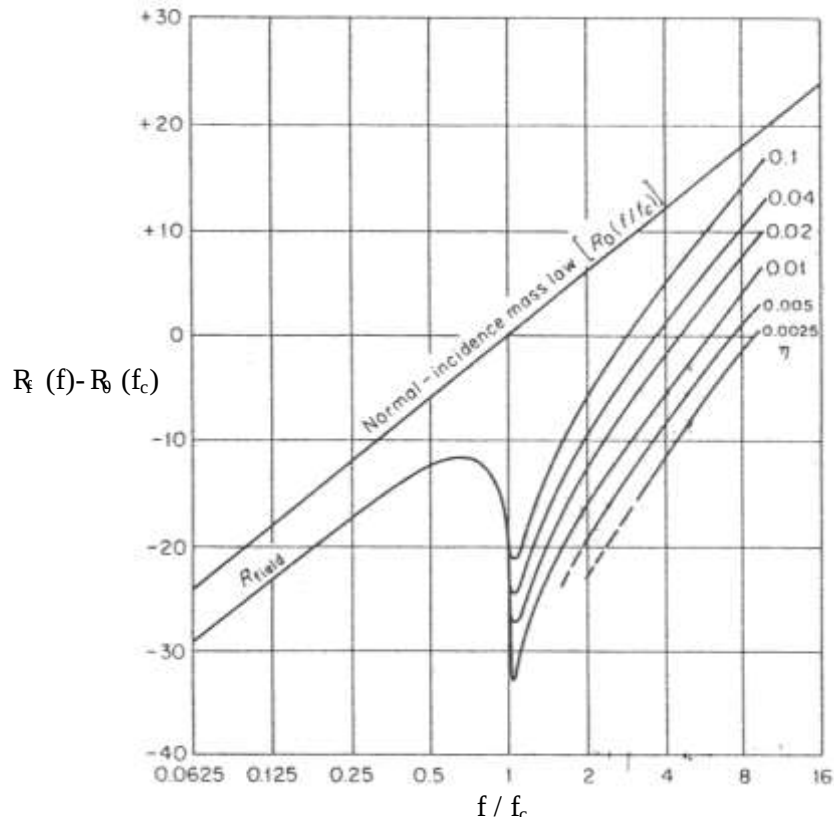
$f$  = Frekans, Hz

$m$  = Elemanın alan ağırlığı,  $\text{kg/m}^2$

Literatürde, alan ağırlığı,  $m_a$  ya da  $\rho_s$  sembolüyle gösterilmektedir. Beranek'in Noise and Vibration Control kitabından alınan bağıntılarda alan ağırlığı  $\rho_s$  olarak kullanılmıştır. Günümüzde diğer kaynaklarda  $m$  sembolüyle gösterilmektedir.

Kritik frekansın üzerindeki frekanslarda, yapı elemanının frekansa bağlı değişimi malzemenin kayıp faktörüne bağlıdır. Bu frekans bölgesi, Kayıp Faktörü Etkili Bölgedir. Bu bölgede tek tabakalı bir elemanın ses geçiş kaybı, iki yöntemle bulunabilir.

İlk yöntemde, yapı elemanının 6.10 ve 6.11 formülleri kullanılarak ses geçiş katsayısı bulunur.  $\theta_{im}$  açısı  $78^\circ$  alınır. Daha sonra, 6.12 formülünde ses geçiş katsayısı yerine konularak tek tabakalı elemanın ses geçiş kaybı elde edilir. Bu durum bütün  $f / f_c$  oranları için Şekil 6.6'da gösterilmiştir. y eksen  $f$  frekansındaki alansal ses geçiş kaybı ile kritik frekansta oluşan normal ses geçiş kaybı arasındaki farkı ( $R_f(f) - R_0(f_c)$ ) göstermektedir. [20]



Şekil 6. 6: A l ansal Ses Geçi ş Kaybı nı n Hesaplan ması İ ç i n Kullan ı l an Gra f i k ( Beranek, Noise and Vibration Control)

Yapı mal ze m e s i n i n k r i t i k f r e k a n s ı  $f_c$  f o r m ü l ü n e g ö r e b u l u n u r . Yapı mal ze m e s i n i n a l a n y o ğ u n l u ğ u o l a n  $\rho_s$  d e ğ e r i d e b e l i r l i b i r d e ğ e r d i r . B u d e ğ e r l e r k u l l a n ı l a r a k Ş e k i l 6. 5' d e n  $R_0(f_c)$  d e ğ e r i o k u n u r .

M a l z e m e n i n k a y ı p f a k t ö r ü n e b a ğ l ı o l a r a k o l u ş a n  $R_f(f) - R_0(f_c)$  d e ğ e r i d e Ş e k i l 6. 6' d a n b e l i r l e n i r .

S o n u ç o l a r a k b e l i r l i b i r  $f$  f r e k a n s ı n d a , t e k t a b a k a l ı b i r y a p ı e l e m a n ı n ı n a l a n s a l s e s g e ç i ş k a y b ı ,  $R_f(f)$ , a ş a ğ ı d a k i b a ğ ı n t ı k u l l a n ı l a r a k h e s a p l a n ı r . [20]

$$R_f(f) = [R_f(f) - R_0(f_c)] + R_0(f_c) \quad (6.18)$$

$R_f(f)$  =  $f$  f r e k a n s ı n d a o l u ş a n A l a n s a l S e s G e ç i ş K a y b ı , d B

$R_0(f_c) = f_c$  frekansında oluşan Normal Ses Geçiş Kaybı, dB

$R_0(f) = f$  frekansında oluşan Normal Ses Geçiş Kaybı, dB

İkinci yöntem olarak, tektabakalı bir elemanın ses geçiş kaybı ( $R$ ) aşağıdaki bağıntıyla da hesaplanabilir. Bu bağıntı, yukarıda anlatılan grafiksel yöntemle aynı sonucu vermektedir ve daha hızlı sonuç alınmaktadır.

$$R = 20 \log(f \cdot m) + 10 \log\left(\sqrt{f/f_c}\right) - 62 \text{ dB} \quad (6.19)$$

$R$  = Tek tabakalı elemanın ses geçiş kaybı, dB

$f$  = Frekans, Hz

$m$  = Elemanın alan ağırlığı, kg / m<sup>2</sup>

$f_c$  = Kritik frekans, Hz

## 6.2.6 KAPLAMALI YAPI ELEMANLARININ SES GEÇİŞ KAYBİNIN HESAPLANMASI

Kaplamalı yapı elemanlarında genellikle iki ya da daha fazla homojen yapı elemanlarından oluşan yapı bileşenleri kullanılır. Betonarme blok üzeri doğal taş kaplama, tuğla duvar üzeri granit kaplama örnek olarak verilebilir.

İki tabakalı bir yapı elemanında, alan ağırlığı,  $\rho_s$ , aşağıdaki formülle bulunur: [20]

$$\rho_s = \rho_1 d_1 + \rho_2 d_2 \quad \text{kg/m}^2 \quad (6.20)$$

$\rho_s$  = Kaplamalı yapı elemanının toplam alan ağırlığı, kg / m<sup>2</sup>

$\rho_1$  = Birinci tabakanın yoğunluğu, kg / m<sup>3</sup>

$\rho_2$  = İkinci tabakanın yoğunluğu, kg / m<sup>3</sup>

$d_1$  = Birinci tabakanın kalınlığı, m

$d_2$  = İkinci tabakanın kalınlığı, m

Kaplamalı yapı elemanlarında eğilme sertliği (B), aşağıdaki formülle bulunur. [20]

$$B \approx \frac{E_1 d}{12} \left[ d_1^2 + \left( y - \frac{d_1}{2} \right)^2 \right] + \frac{E_2 d_2}{12} \left[ d_2^2 + \left( y - \frac{2d_1 + d_2}{2} \right)^2 \right] \text{ } \Lambda \text{ } \Lambda \text{ } Nm \quad (6.21)$$

$E_1$  = Birinci tabakanın elastikiyet modülü, N/ m<sup>2</sup>

$E_2$  = İkinci tabakanın elastikiyet modülü, N/ m<sup>2</sup>

$d_1$  = Birinci tabakanın kalınlığı, m

$d_2$  = İkinci tabakanın kalınlığı, m

$y$  = Yapı bileşeninin nötral ekseninin, tabakanın uzak olan yüzüne uzaklığı, m

$$y = \left[ \frac{E_1 d_1 + E_2 (2d_1 + d_2)}{2(E_1 + E_2)} \right] \text{ } \Lambda \text{ } \Lambda \text{ } m \quad (6.22)$$

Yukarıdaki formüllerden elde edilen eğilme sertliği (B) ve alan ağırlığına ( $\rho_s$ ) bağlı olarak, kaplamalı yapı elemanının kritik elemanının kritik frekansı aşağıdaki formülle bulunur: [20]

$$f_c = (c^2 / 2\pi) \cdot (\sqrt{\rho_s / B}) \text{ } \Lambda \text{ } \Lambda \text{ } Hz \quad (6.23)$$

$c$  = Havadaki ses hızı, m/ s

$\rho_s$  = Kaplamalı yapı elemanının toplam alan ağırlığı, kg/ m<sup>2</sup>

$B$  = Eğilme sertliği, Nm

Yapı malzemesinin kritik frekansı ve alan yoğunluğu olan  $\rho_s$  değerleri kullanılarak Şekil 6.5’den  $R_0(f_c)$  değeri okunur.

Malzemenin kayıp faktörüne bağlı olarak oluşan  $R_f(f) - R_0(f_c)$  değeri de Şekil 6.6’ dan belirlenir.

Sonuç olarak belirli bir  $f$  frekansı nda, kaplamalı bir yapı elemanının alansal ses geçiş kaybı,  $R_f(f)$ , aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır. [20]

$$R_f(f) = [R_f(f) - R_0(f_c)] + R_0(f) \quad \text{dB} \quad (6.24)$$

$R_f(f)$  =  $f$  frekansı nda oluşan Alansal Ses Geçiş Kaybı, dB

$R_0(f_c)$  =  $f_c$  frekansı nda oluşan Normal Ses Geçiş Kaybı, dB

$R_0(f)$  =  $f$  frekansı nda oluşan Normal Ses Geçiş Kaybı, dB

İkinci yöntem olarak, kaplamalı bir yapı elemanının ses geçiş kaybı ( $R_f$ ) aşağıdaki bağıntıyla da hesaplanabilir. Bu bağıntı, yukarıda anlatılan grafiksel yöntemle aynı sonucu vermektedir ve daha hızlı sonuç alınmaktadır.

$$R = 20 \log(f \cdot m) + 10 \log\left(\sqrt{f/f_c}\right) - 62 \text{ dB} \quad \text{dB} \quad (6.25)$$

$R$  = Kaplamalı elemanın ses geçiş kaybı, dB

$f$  = Frekans, Hz

$m$  = Elemanın alan ağırlığı, kg / m<sup>2</sup>

$f_c$  = Kritik frekans, Hz

## 6.2.7. KOMPOZİT YAPI ELEMANLARININ SES GEÇİŞ KAYBININ HESAPLANMASI

Kompozit yapı elemanlarında, bina kabuğunda birden fazla bileşen bulunmaktadır. Konut, ofis gibi işlevlere sahip normal bir binanın dış cephesinde duvar, cam kapı gibi yapı bileşenleri vardır. Ayrıca bu bileşenler, tek tabakalı, çift tabakalı olabilir. Bina

kabuğunun toplam ses geçiş kaybını bulabilmek için, öncelikle bileşenlerin ses geçiş kaybı bulunmalıdır. Daha sonra toplam ses geçiş kaybı hesaplanabilir.

Kompozit yapı elemanlarında bileşenlerin ses geçirimsizlik özellikleri, kompozit yapı elemanının toplam ses geçiş katsayısını ve toplam ses geçiş kaybını etkiler.

Toplam ses geçiş katsayısı ( $\tau_T$ ) ve ses geçiş kaybı ( $R_T$ ) aşağıdaki formlerle bulunur. [20]

$$\tau_T = 10^{(-R_T/10)} \quad (6.26)$$

$R_T$  = Toplam ses geçiş kaybı, dB

$$\tau_T = \frac{\tau_1 \cdot S_1 + \tau_2 \cdot S_2 + \dots + \tau_i \cdot S_i}{\sum_i S_i} \quad (6.27)$$

i = Bileşen sayısı

$\tau$  = Ses geçiş katsayısı

S = Eleman alanı, m<sup>2</sup>

$$R_T = 10 \log(1/\tau_T) \text{ dB} \quad (6.28)$$

$\tau_T$  = Toplam ses geçiş katsayısı

$$R_T = 10 \log \frac{\sum_i S_i}{\sum_i \tau_i \cdot S_i} \text{ dB} \quad (6.29)$$

i = Bileşen sayısı

$\tau$  = Ses geçiş katsayısı

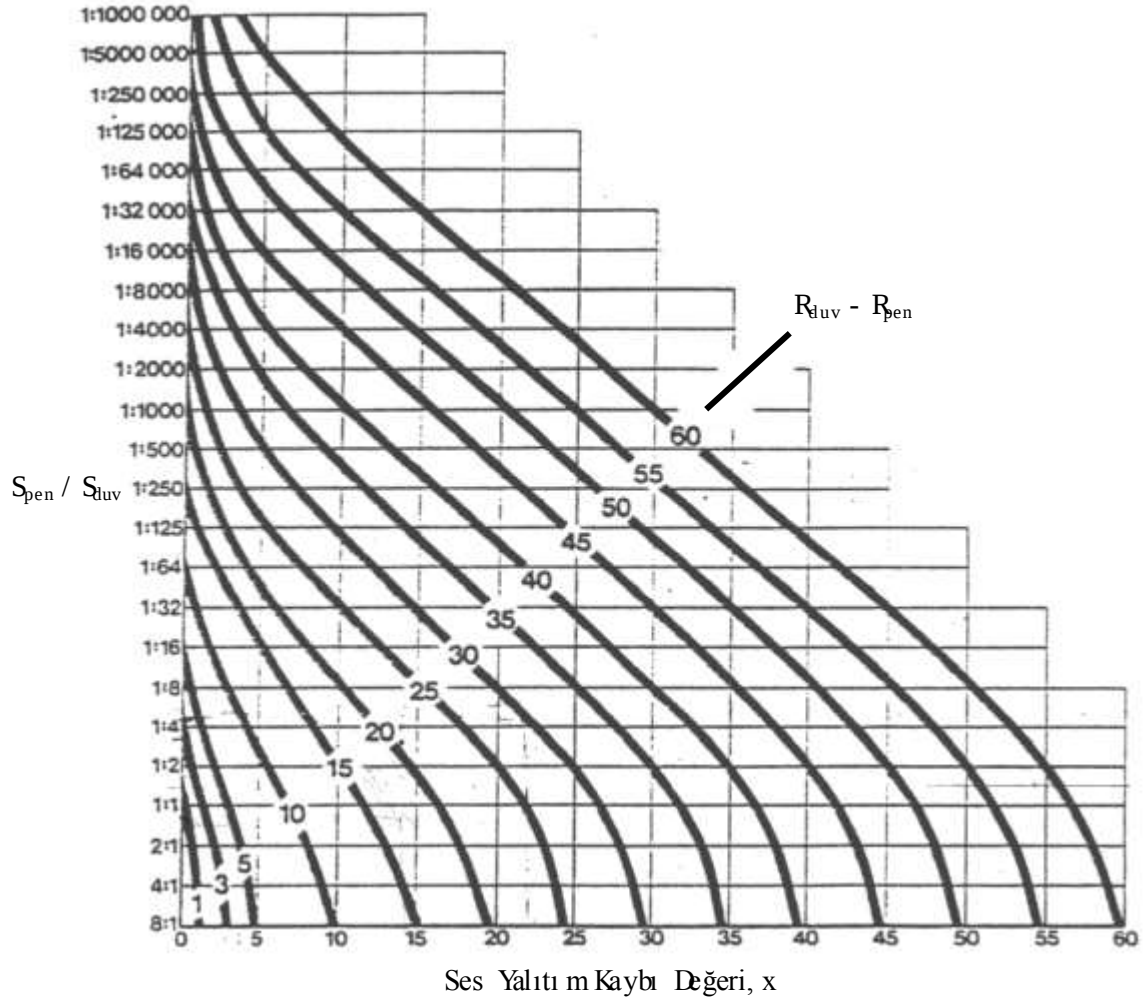
$$S = \text{Eleman alanı, m}^2$$

Kompozit yapı elemanı, pencere ve kapı gibi ses geçirimsizlik özellikleri diğer yapı elemanlarına göre daha düşük bileşenler içeriyorsa, toplam ses geçiş kaybının hesaplanmasında başka bir yöntemde kullanılır.

Bu yöntemde, öncelikle yapı kabuğunda kullanılan cam tipine bağlı olarak, camın ses geçiş kaybı değerleri ( $R_{\text{pen}}$ ) oktav band frekans değerleri için elde edilir.

Daha sonra istenen frekansta, yapı kabuğundaki duvarın ses geçiş kaybı değeri ( $R_{\text{duvar}}$ ) hesaplanır ve  $R_{\text{duvar}} - R_{\text{pen}}$  bulunur.

Yapı kabuğunda, duvar alanı ( $S_{\text{duvar}}$ ) ve pencere alanı ( $S_{\text{pen}}$ ) hesaplanır ve oranı ( $S_{\text{pen}} / S_{\text{duvar}}$ ) bulunur. Elde edilen  $S_{\text{pen}} / S_{\text{duvar}}$  oranına ve ses geçiş kayıpları arasındaki farka göre, Şekil 6.7'ye bakılarak, ses yalıtım kaybı değeri olan  $x$  bulunur. [22]



Şekil 6.7. Kompozit Yapı Elemanlarında Ses Yalıtım Kaybı Değerinin Bulunması

Kompozit yapı elemanının toplam ses geçiş kaybı aşağıdaki formülle bulunur.

$$R_T = R_{duvar} - x \text{ dB} \quad (6.30)$$

## 6.3. DENEYSEL YÖNTEM

### 6.3.1. GİRİŞ

Yapı kabuğunun ses yalıtım performanslarının deneysel olarak ölçülmesinde ölçüm metodu olarak TS-ISO 140-5 sayılı “Akustik – Bölüm 5: Dış Cephe Kaplama Elemanları ve Dış Cephe Kaplama Elemanlarının Hava ile Yayılan Ses Yalıtımının Alan Ölçmeleri” isimli standartı esas alınmıştır.

### 6.3.2. PRENSİP

TS-ISO 140-5’e göre, ses, yapı kabuğu üzerine değişik yönlerden ve çeşitli yoğunlukta gelirse, mesela; kalabalık caddelerdeki trafik gürültüsünde olduğu gibi, yapı kabuğunun ses geçiş kaybı, yapı kabuğunun her iki tarafında ölçülen eşdeğer ses basınç seviyelerinden elde edilir. Yapı kabuğunun ses geçiş kaybı aşağıdaki gibi hesaplanır. [23]

$$R_T = L_{du} - L_{iç} + 10 \log \frac{S}{A} \text{ dB} \quad (6.31)$$

$L_{dış}$  = Yapı kabuğunun, 2 m önündeki eşdeğer ses basınç düzeyi, dB

$L_{iç}$  = İç mekanda, oda ortalaması olarak ölçülen eşdeğer ses basınç düzeyi, dB

$S$  = Ölçülen yapı kabuğunun alanı, m<sup>2</sup>

$A$  = İç mekandaki eşdeğer emicilik alanı, sabit m<sup>2</sup>

$$A = S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 + \dots + S_n \cdot \alpha_n = \sum (S \cdot \alpha) \quad (6.32)$$

$\alpha$  = Yapı malzemesinin ses yutuculuk katsayısı

$S$  = Yapı malzemesinin alanı, m<sup>2</sup>

Yukarıdaki eşitlik trafik hattının yeterince uzun ve düzenli olduğu ve çarpan sesin dağılımının homojen olduğu durumlarda kullanılır.

### **6.3.3. ÖLÇÜM VE ANALİZDE KULLANILAN ALETLER**

Ölçüm yapılırken kullanılan aletler aşağıda sıralanmıştır:

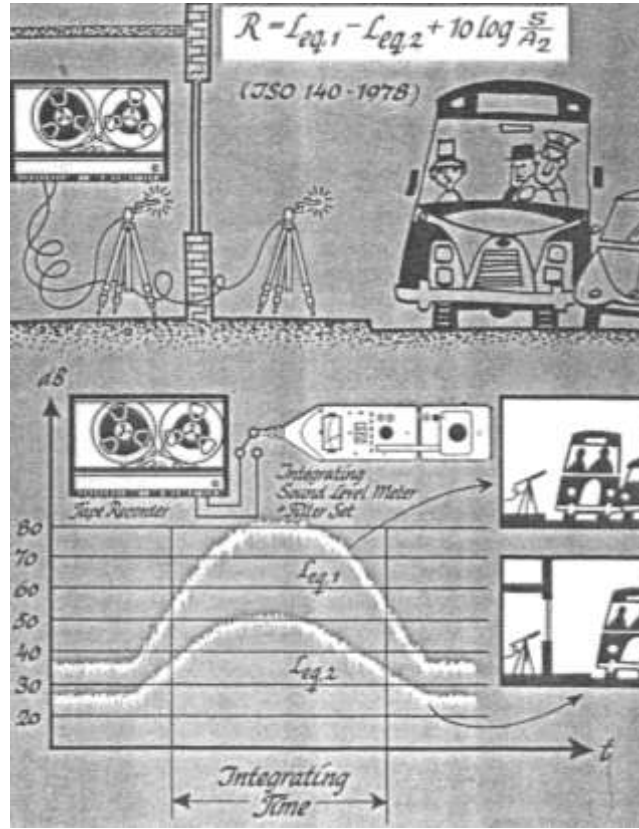
1. 2 adet Precision Ses Basınç Düzeyi Ölçeri, Brüel & Kjær, Type 2204
2. 2 adet 1” lik “condenser” mikrofön, Brüel & Kjær, Type 4145
3. 2 adet oktav filtre, Oktav Filter Band, Brüel & Kjær, Type 1613
4. 2 adet tripod
5. 1 adet çift kanallı ses kayıt cihazı, Sony Digital Audio Type Recorder, TCD-010
6. Kablolar

Analiz yapılırken kullanılan aletler ve bilgisayar programları aşağıda sıralanmıştır:

1. Noise Level Analyzer, Brüel & Kjær, Type 4427
2. Kanal Analizörü Program

### **6.3.4. ÖLÇÜM YÖNTEMİ**

Trafik gürültüsünün dalgalanmaları gözönüne alınarak iç ve dış ortamdaki ses düzeyleri, yapı kabuğunun her iki tarafında, aynı anda, 5'er dakika süresince ölçülmüştür. Ses basınç düzeyi ölçerlerine bağlanan kablolarla ses, çift kanallı teybe kaydedilmiştir. Sağ kanal dış gürültü düzeylerini, sol kanal iç gürültü düzeylerini kaydetmiştir. Yapı kabuğunun dışındaki ölçümler, yapı kabuğunun 2 metre önünde, tripod üzerine yerleştirilmiş ses basınç düzeyi ölçeriyle yapılmıştır. Yapı kabuğunun içindeki ölçümler, iç mekana yerleştirilmiş tripod üzerindeki ses basınç düzeyi ölçeriyle yapılmıştır. Deney düzeneğinin krokisi, aşağıda Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6. 8: Deney Düzeneği (Hassall, J. R. and Zaveri, K, Acoustic Noise Measurements)

Ölçümü yapılan binalarda, zemin katının uygun olmadığı durumlarda, bina içi ölçümler 1. katta yapılmıştır. TS-ISO 140-5'e göre, "Yükselti açısı, 20°den fazla olduğunda, gelme açısının (dik olmayan) bir üstünlük olacak ve sonuçlar bu açılarının yer seviyesinden gelişine göre değişebilecektir. Bunun sebebi, ölçülen yapı kabuğunun sağladığı gürültü azaltım endeksinin geliş açısına bağlı olmasıdır. Yükselti açısı 50°yi geçtiğinde 6.31 bağıntısı kullanılmaz." Bu kural dikkate alınarak 1. katta ölçümler yapılmış ve yükselti açısı 50°yi geçmemiştir. [23]

### 6.3.5 DENEY ÖLÇÜMLERİNİN ANALİZİ

Deney ölçümleri ilk olarak Noise Level Analyzer'da değerlendirilmiştir. Teybe kaydedilmiş olan iç ve dış gürültü düzeyleri, kabloyla Noise Level Analyzer'a bağlanmış ve aşağıda sıralanan değerler belirlenmiştir:

1. Short  $L_{eq}$ : Kısa süreli eşdeğer ses basınç düzeyi
2. Medium  $L_{eq}$ : Orta süreli eşdeğer ses basınç düzeyi
3. Long  $L_{eq}$ : Uzun süreli eşdeğer ses basınç düzeyi
4. 1 sec.  $L_{eq}$ : 1 saniyedeki eşdeğer ses basınç düzeyi
5. Sound Level: Ses düzeyi
6. Cumulative Distribution: Kümlatif dağılım
7. Probability Distribution: Olasılık dağılım

Gürültünün frekans içeriğinin belirlenmesi için, Frekans Analizörü Program kullanılmıştır. İç ve dış gürültü düzeylerinin oktav band ve 1 / 3 oktav band frekans düzeyleri belirlenmiştir. Bunun dışında, bu program kullanılarak SEL ve  $L_{max}$  değerleri de elde edilmiştir.

## **BÖLÜM 7. TAKSİM VE BEŞİKTAŞ ÇEVRESİNDE YAPI ELEMANLARININ GÜRÜLTÜ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: KURAMSAL VE DENEYSEL AÇIDAN**

### **7.1. GİRİŞ**

Bu bölümde, Taksim ve Beşiktaş çevresinde yapı elemanlarının gürültü açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Deneysel ve kuramsal yöntem kullanılarak hesaplanan değerler karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Beşiktaş'ta, İstanbul İl Turizm Müdürlüğü, Turkcell Bayii ve Vakıflar Bankası'nda, Taksim'de ise İstanbul Metro Kumanda Merkezi, Taksim Hill Oteli ve Divan Restoran'da deneysel ölçümler yapılmıştır. Deneysel ölçüm sonuçları, kuramsal değerlerle karşılaştırılmıştır.

### **7.2. İSTANBUL İL TURİZM MÜDÜRLÜĞÜ BİNASININ (BEŞİKTAŞ) KURAMSAL VE DENEYSEL AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

#### **7.2.1. GİRİŞ**

İstanbul İl Turizm Müdürlüğü olarak kullanılan yapı, Şair Nefi Caddesi üzerinde, Akaretler Sıra Evleri'nde yer almaktadır. Yapı, restorasyonu yapılmış eski bir yapıdır ve projeleri Ek A'da verilmiştir.

Yapı, taş duvarları taşıyıcı olduğu için bir yapıdır. Ölçümü yapılan yapı kabuğu, 55.5 cm kalınlığında taş duvar ve ahşap çift camlı pencereden oluşmaktadır. Gürültü ölçümü, zemin katın uygun olması nedeniyle 1. katta, Şair Nefi Caddesi'ne bakan ofiste, sabah saat 11:00 dolaylarında yapılmıştır.

## 7.2.2 DENEYSEL YÖNTEMLE YAPI KABUĞUNUN SES GEÇİŞ KAYBININ HESAPLANMASI

Bölüm 6’da anlatılan deney düzeneğine uygun olarak, yapı kabuğunun, ses basınç düzeyi ölçerleri kullanılarak ölçülen iç ve dış gürültü seviyeleri, kablolarla çift kanallı teybe kaydedilmiştir. Daha sonra deney ölçümleri, Gürültü Düzeyi Analizörü’nde ve Kanal Analizörü programında analiz edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen değerler aşağıda Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7. 1: İstanbul İl Turizm Müdürlüğü Binası - Gürültü Analiz Sonuçları

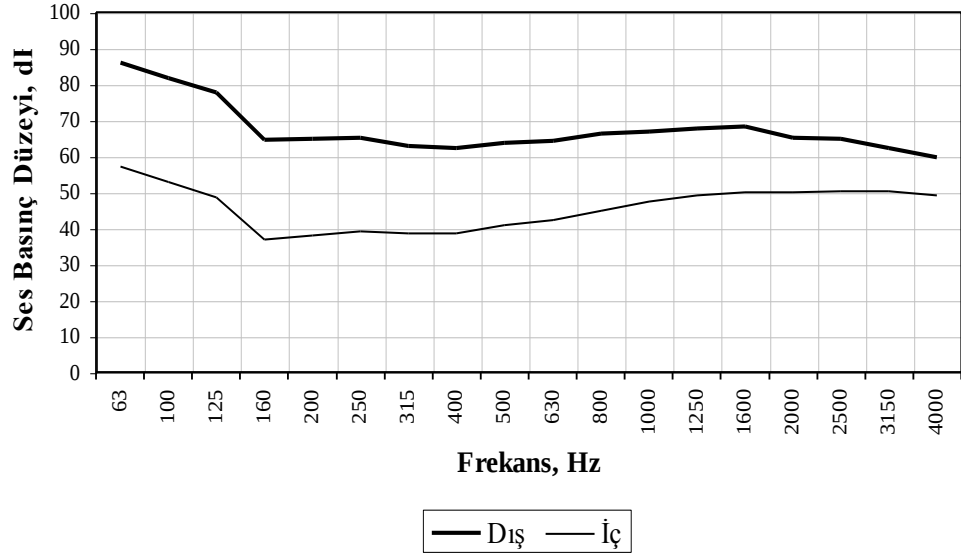
| (dBA)           | Short $L_{eq}$ | Med. $L_{eq}$ | Long $L_{eq}$ | 1 sec. $L_{eq}$ | $L_{max}$ | SEL    | Sound L. |
|-----------------|----------------|---------------|---------------|-----------------|-----------|--------|----------|
| <b>Dış</b>      | 85.20          | 88.70         | 88.60         | 82.30           | 89.80     | 103.10 | 82.20    |
| <b>İç</b>       | 66.00          | 66.90         | 66.80         | 64.10           | 75.30     | 93.60  | 64.10    |
| <b>Dış - İç</b> | 19.20          | 21.80         | 21.80         | 18.20           | 14.50     | 9.50   | 18.10    |

Kanal Analizörü programında, iç ve dış gürültü düzeylerinin oktav band ve 1 / 3 oktav band frekans dağılımı bulunmuştur. Aşağıda Tablo 7.2’de gürültü düzeylerinin dB olarak frekans dağılımı gösterilmiştir.

Tablo 7. 2 İstanbul İl Turizm Müdürlüğü Binası – Frekans Analizi

|                 | Frekans (Hz) |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                 | 63           | 100   | 125   | 160   | 200   | 250   | 315   | 400   | 500   |
| <b>Dış (dB)</b> | 86.10        | 81.85 | 77.60 | 64.60 | 64.80 | 65.10 | 63.00 | 62.40 | 63.60 |
| <b>İç (dB)</b>  | 57.20        | 52.90 | 48.70 | 36.90 | 38.00 | 39.10 | 38.60 | 38.60 | 41.00 |
|                 | 630          | 800   | 1000  | 1250  | 1600  | 2000  | 2500  | 3150  | 4000  |
| <b>Dış (dB)</b> | 64.30        | 66.20 | 66.90 | 67.80 | 68.30 | 65.10 | 64.90 | 62.40 | 59.60 |
| <b>İç (dB)</b>  | 42.40        | 44.90 | 47.50 | 49.20 | 49.90 | 50.10 | 50.40 | 50.20 | 49.10 |

Tablo 7.2’de verilmiş olan ses basınç düzeyi – frekans ilişkisi, aşağıda Şekil 7.1’de, iç ve dış ortam için grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7. 1: İç ve Dış Ses Basıncı Düzeyi – Frekans İlişkisi

Deneyssel yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybı, oktav band merkez frekansları için, TS – ISO 140 / 5'te belirtilen yöntemle hesaplanmıştır. Eşdeğer emicilik alanının (A) hesaplanması, Tablo 7.3'te gösterilmiştir.

$$R_T = L_{du} - L_{iç} + 10 \log \frac{S}{A} \text{ dB}$$

$$125 \text{ Hz, } R_T = 77.60 - 48.70 + 10 \log \frac{20.77}{12.2}$$

$$125 \text{ Hz, } R_T = 31.21 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz, } R_T = 65.10 - 39.10 + 10 \log \frac{20.77}{11.71}$$

$$250 \text{ Hz, } R_T = 28.49 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz, } R_T = 63.60 - 41.00 + 10 \log \frac{20.77}{12.60}$$

$$500 \text{ Hz, } R_T = 24.77 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_T = 66.90 - 47.50 + 10 \log \frac{20.77}{12.30}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_T = 21.67 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_T = 65.10 - 50.10 + 10 \log \frac{20.77}{12.44}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_T = 17.23 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_T = 59.60 - 49.10 + 10 \log \frac{20.77}{12.82}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_T = 12.60 \text{ dB}$$

Tablo 7. 3 İl Turizm Binası – Eşdeğer Yutuculuk Alanının (A) Hesaplanması

| ELEMEN ADI                                      | TOPLAM<br>S (m <sup>2</sup> ) | ALAN<br>(m <sup>2</sup> ) | MALZEME       | FREKANS (Hz) |             |          |             |          |             |          |             |          |             |          |             |
|-------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------|--------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|
|                                                 |                               |                           |               | 125          |             | 250      |             | 500      |             | 1000     |             | 2000     |             | 4000     |             |
|                                                 |                               |                           |               | $\alpha$     | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ |
| A DUVARI                                        | 13.14                         | 13.14                     | Taş Duvar     | 0.01         | 0.13        | 0.01     | 0.13        | 0.02     | 0.26        | 0.02     | 0.26        | 0.02     | 0.26        | 0.02     | 0.26        |
| B DUVARI                                        | 13.14                         | 13.14                     | Taş Duvar     | 0.01         | 0.13        | 0.01     | 0.13        | 0.02     | 0.26        | 0.02     | 0.26        | 0.02     | 0.26        | 0.02     | 0.26        |
| ÖN DUVAR                                        | 20.77                         | 14.57                     | Taş Duvar     | 0.01         | 0.15        | 0.01     | 0.15        | 0.02     | 0.29        | 0.02     | 0.29        | 0.02     | 0.29        | 0.02     | 0.29        |
|                                                 |                               | 6.20                      | Çift camlı p. | 0.10         | 0.62        | 0.07     | 0.43        | 0.05     | 0.31        | 0.03     | 0.19        | 0.02     | 0.12        | 0.02     | 0.12        |
| ARKA DUVAR                                      | 20.77                         | 17.67                     | Taş Duvar     | 0.01         | 0.18        | 0.01     | 0.18        | 0.02     | 35.00       | 0.02     | 0.35        | 0.02     | 0.35        | 0.02     | 0.35        |
|                                                 |                               | 3.10                      | Ahşap Kapı    | 0.14         | 0.43        | 0.10     | 0.31        | 0.06     | 0.19        | 0.08     | 0.25        | 0.10     | 0.31        | 0.10     | 0.31        |
| DÖŞEME                                          | 28.50                         | 28.50                     | Ahşap parke   | 0.16         | 4.56        | 0.14     | 3.99        | 0.11     | 3.13        | 0.08     | 2.28        | 0.08     | 2.28        | 0.07     | 1.99        |
| TAVAN                                           | 28.50                         | 28.50                     | Ahşap         | 0.16         | 4.56        | 0.14     | 3.99        | 0.11     | 3.13        | 0.08     | 2.28        | 0.08     | 2.28        | 0.07     | 1.99        |
| İNSAN                                           | 6.00                          | 6.00                      |               | 0.24         | 1.44        | 0.40     | 2.40        | 0.78     | 4.68        | 0.98     | 5.88        | 0.96     | 5.76        | 0.87     | 5.22        |
| HACİM (m <sup>3</sup> )                         | 88.35                         | 88.35                     |               | 0.00         | 0.00        | 0.00     | 0.00        | 0.00     | 0.00        | 0.00     | 0.26        | 0.01     | 0.53        | 0.02     | 2.03        |
| EŞDEĞER EMİCİLİK ALANI, A, sabin.m <sup>2</sup> |                               |                           |               | 12.20        |             | 11.71    |             | 12.60    |             | 12.30    |             | 12.44    |             | 12.82    |             |

### 7.2.3. KURAMSAL YÖNTEMLE YAPI KABUĞUNUN SES GEÇİŞ KAYBİNIN HESAPLANMASI

Yapı kabuğu, yığma taş duvar ve ahşap çift camlı pencereden oluşmaktadır. Öncelikle, taş duvarın kritik frekansı, rezonans frekansı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

$$f_c = c^2 / (1.8 \times c_L \times d)$$

$$f_c = 344^2 / (1.8 \times 3000 \times 0.555)$$

$$f_c = 39.48 \text{ Hz}$$

$$f_{nm} = 0.45 \times c_L \times d \times \left[ \left( \frac{1}{l_x} \right)^2 + \left( \frac{1}{l_y} \right)^2 \right]$$

$$f_{nm} = 0.45 \times 3000 \times 0.555 \times \left[ \left( \frac{1}{6.7} \right)^2 + \left( \frac{1}{3.1} \right)^2 \right]$$

$$f_{nm} = 94.41 \text{ Hz}$$

$$2f_{nm} = 188.82 \text{ Hz}$$

Kritik frekans ile rezonans frekansı arasındaki bölgede malzemenin kayıp faktörü etkilidir.  $f_{nm}$  ile  $2f_{nm}$  (94.41 – 188.82 Hz) arasında rezonans oluşmaktadır. 188.82 Hz'in üzerindeki frekanslarda ise Kütle Kanunu geçerli olmaktadır. Bu durum Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Kritik frekansta ve rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybı değerleri, Bölüm 6'da anlatılmış olan grafiksel yöntemle, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'ya bağlı olarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$\rho_s = \rho \times d = 2300 \times 0.555 = 1276.5 \text{ kg/m}^2$$

$$\rho_s = \text{Yapı elemanının alan ağırlığı, kg/m}^2$$

$$\rho = \text{Yapı elemanının yoğunluğu, kg/m}^3$$

$$d = \text{Yapı elemanının kalınlığı, m}$$

$$\rho_s \times f_c = 1276.5 \times 39.48 = 50396.22 \text{ Hz.kg/m}^2$$

Bu değer kullanılarak, Şekil 6.5'ten  $R_0(f_c)$  değeri 52 dB olarak bulunmuştur. Şekil 6.6'da, kayıp faktörü  $\eta = 0.02$  olacak şekilde  $[R_f(f_c) - R_0(f_c)]$  değeri -27dB olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, kritik frekansta oluşan ses geçiş kaybı değeri 6.18 bağıntısı kullanılarak aşağdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$R_f(f_c) = [R_f(f_c) - R_0(f_c)] + R_0(f_c)$$

$$R_f(f_c) = -27 + 52$$

$$R_f(f_c) = 25 \text{ dB}$$

Rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybını hesaplamak için öncelikle, Şekil 6.6'da kullanmak üzere  $f_{nm}/f_c$  oranı bulunmuştur.

$$f_{nm}/f_c = 94.41 / 39.48$$

$$f_{nm}/f_c = 2.39$$

Bu orana bağlı olarak,  $[R_f(f_{nm}) - R_0(f_c)]$  değeri -9 dB olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybı değeri 6.18 bağıntısı kullanılarak aşağdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$R_f(f_{nm}) = [R_f(f_{nm}) - R_0(f_c)] + R_0(f_c)$$

$$R_f(f_{nm}) = -9 + 52$$

$$R_f(f_{nm}) = 43 \text{ dB}$$

Oktav band merkez frekanslarında oluşan ses geçiş kaybı değerleri, Şekil 6.3'e bağlı olarak hesaplanmıştır. Kritik frekans ile rezonans frekansı arasında kalan bölgede ses geçiş kaybı, malzemenin kayıp faktörüne bağlıdır. Rezonans frekansının iki katı kadar olan frekansın üstünde kütle kanunu etkili olmaktadır.

$$R_{duv} = 20 \times \log(f \times \rho \times d) + 10 \times \left( \sqrt{f/f_c} \right) - 62 dB \wedge dB$$

|          |                                                                                                     |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 125 Hz,  | $R_{duv} = 20 \times \log(125 \times 2300 \times 0.555) + 10 \times \log(\sqrt{125/39.48}) - 62 dB$ |
| 125 Hz,  | $R_{duv} = 44.56 \text{ dB}$                                                                        |
| <br>     |                                                                                                     |
|          | $R_{duv} = 20 \times \log(f \times m) - 47 dB \wedge dB$                                            |
| 250 Hz,  | $R_{duv} = 20 \times \log(250 \times 1276.5) - 47 dB$                                               |
| 250 Hz,  | $R_{duv} = 63.08 \text{ dB}$                                                                        |
| <br>     |                                                                                                     |
| 500 Hz,  | $R_{duv} = 20 \times \log(500 \times 1276.5) - 47 dB$                                               |
| 500 Hz,  | $R_{duv} = 69.10 \text{ dB}$                                                                        |
| <br>     |                                                                                                     |
| 1000 Hz, | $R_{duv} = 20 \times \log(1000 \times 1276.5) - 47 dB$                                              |
| 1000 Hz, | $R_{duv} = 75.12 \text{ dB}$                                                                        |
| <br>     |                                                                                                     |
| 2000 Hz, | $R_{duv} = 20 \times \log(2000 \times 1276.5) - 47 dB$                                              |
| 2000 Hz, | $R_{duv} = 81.14 \text{ dB}$                                                                        |
| <br>     |                                                                                                     |
| 4000 Hz, | $R_{duv} = 20 \times \log(4000 \times 1276.5) - 47 dB$                                              |
| 4000 Hz, | $R_{duv} = 87.16 \text{ dB}$                                                                        |

Yapı elemanının kritik frekansta, rezonans frekansında ve oktav band frekanslarındaki ses geçiş kayıpları, aşağıda Tablo 7.4'te gösterilmiştir.

Tablo 7. 4: Yapı Elemanının Kuramsal Ses Geçiş Kayıp Değerleri

|                       | fc    | f <sub>nm</sub> |       | 2f <sub>nm</sub> |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-------|-----------------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | 39.48 | 94.41           | 125   | 188.82           | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
| R <sub>duv</sub> , dB | 25.00 | 43.00           | 44.56 | 53.00            | 63.08 | 69.10 | 75.12 | 81.14 | 87.16 |

Yapı kabuğundaki pencere tipi, 3 mm cam + 6 mm boşluk + 3 mm cam şeklinde çift camdır. Bu tip çift cam sisteminin frekanslara olarak sağladığı ses geçiş kaybı değerleri aşağıda gösterilmiştir.

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 24 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 24 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 24 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 24 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 39 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 32 \text{ dB}$$

Bölüm 6'da anlatılan kuramsal yöntemle göre  $S_{pen} / S_{duv}$  oranı bulunmuş ve oktav band frekans değerleri için  $R_{duv} - R_{pen}$  farkları alınmıştır.

$$S_{pen} / S_{duv} = 62 / 1457 = 0.42 \cong 1 / 2.5$$

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{duv} - R_{pen} = 44.56 - 24 = 20.56 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{duv} - R_{pen} = 63.08 - 24 = 39.08 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{duv} - R_{pen} = 69.10 - 24 = 45.10 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} - R_{pen} = 75.12 - 24 = 51.12 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} - R_{pen} = 81.14 - 39 = 42.14 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} - R_{pen} = 87.16 - 32 = 55.16 \text{ dB}$$

Şekil 6.7'deki grafik kullanılarak, oktav band frekans değerleri için, ses yalıtımı kaybı değeri olan  $x$  bulunmuştur.

$$R_T = R_{duv} - x$$

$$125 \text{ Hz}, \quad x = 15.00 \quad R_T = R_{duv} - x = 44.56 - 15.00 = 29.56 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad x = 33.50 \quad R_T = R_{duv} - x = 63.08 - 33.50 = 29.58 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad x = 40.00 \quad R_T = R_{duv} - x = 69.10 - 40.00 = 29.10 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad x = 46.00 \quad R_T = R_{duv} - x = 75.12 - 46.00 = 29.12 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad x = 37.00 \quad R_T = R_{duv} - x = 81.14 - 37.00 = 44.14 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad x = 50.00 \quad R_T = R_{duv} - x = 87.16 - 50.00 = 37.16 \text{ dB}$$

#### 7.2.4 İÇ MİNAİÇİ NCB KRİTERİNİN SEÇİLMESİ

İç gürültü düzeyi ölçülen mekan özel ofistir. Özel ofisler için olması gereken NCB değeri 35'tir. NCB 35'in oktav band merkez frekanslarına göre dağılım aşağıda gösterilmiştir.

$$125 \text{ Hz}, \quad L_{kriter} = 50 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad L_{kriter} = 44 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad L_{kriter} = 40 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad L_{kriter} = 37 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad L_{kriter} = 33 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad L_{kriter} = 30 \text{ dB}$$

İç mekanda olması gereken ses düzeylerine ( $L_{kriter}$ ) bağlı olarak, yapı kabuğunun sağlanması gereken ses geçiş kaybı ( $R_{st}$ ), frekanslara bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$R_{st} = L_{du} - L_{kri} + 10 \log \frac{S}{A} \text{ dB}$$

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 77.60 - 50 + 10 \log \frac{20.77}{12.2}$$

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 29.91 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 65.10 - 44 + 10 \log \frac{20.77}{11.71}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 23.59 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 63.60 - 40 + 10 \log \frac{20.77}{12.60}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 25.77 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 66.90 - 37 + 10 \log \frac{20.77}{12.30}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 32.17 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 65.10 - 33 + 10 \log \frac{20.77}{12.44}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 34.33 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 59.60 - 30 + 10 \log \frac{20.77}{12.82}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 31.70 \text{ dB}$$

## 7.2.5 DENEYSEL VE KURAMSAL YÖNTEM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Yapı kabuğunun, kuramsal olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerleri ile deneysel olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerlerinin, oktav band frekansları için karşılaştırılması aşağıda Tablo 7.5'te gösterilmiştir.

Tablo 7. 5: Kuramsal – Deneysel Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması

|                  | 125   | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $L_{dış}$ , dB   | 77.60 | 65.10 | 63.60 | 66.90 | 65.10 | 59.60 |
| $L_{iç}$ , dB    | 48.70 | 39.10 | 41.00 | 47.50 | 50.10 | 49.10 |
| 10 log S/A       | 2.31  | 2.49  | 2.17  | 2.27  | 2.23  | 2.10  |
| $R_{T,Den}$ , dB | 31.21 | 28.49 | 24.77 | 21.67 | 17.23 | 12.60 |

|                                             | 125   | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
|---------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $R_{duv}$ , dB                              | 44.56 | 63.08 | 69.10 | 75.12 | 81.14 | 87.16 |
| $R_{pen}$ , dB                              | 24.00 | 24.00 | 24.00 | 24.00 | 39.00 | 32.00 |
| $R_{duv}-R_{pen}$ , dB                      | 20.56 | 39.08 | 45.10 | 51.12 | 42.14 | 55.16 |
| x                                           | 15.00 | 33.50 | 40.00 | 46.00 | 37.00 | 50.00 |
| $R_{T,Teo}$ , dB                            | 29.56 | 29.58 | 29.10 | 29.12 | 44.14 | 37.16 |
| $R_{T,Den}$ , dB                            | 31.21 | 28.49 | 24.77 | 21.67 | 17.23 | 12.60 |
| Karşılaştırma<br>$R_{T,Teo}-R_{T,Den}$ , dB | -1.65 | 1.09  | 4.33  | 7.45  | 26.91 | 24.56 |

Deneysel ve kuramsal sonuçlar karşılaştırıldığında, kuramsal olarak bulunmuş ses geçiş kaybı değerlerinin, deneysel ses geçiş kaybı değerlerinden, özellikle yüksek frekanslarda daha yüksek olduğu görülmektedir. Deneysel ses geçiş kaybı değerleri, yapı kabuğunun gerçek ortamdaki ses yalıtım performansını göstermektedir. Bu sebeple elde edilen sonuçlar daha gerçekçidir. Kuramsal yöntemde kullanılan değerler ise literatürden alınmış ideal koşullardaki değerlerdir. Özellikle yüksek frekanslarda oluşan büyük fark, ideal bir kanun olan Kütle Kanunu'ndan kaynaklanmaktadır. Kütle Kanunu'na göre, her oktav bandda, ses geçiş kaybı 6 dB artmaktadır. Gerçek ortam koşullarında ise ideal ortam koşulları yoktur. Yapı kabuğundaki elemanların özellikleri, literatür değerlerinden

farklıdır. Bu sebeple, yapı kabuğunun ses yalıtım performansı nın değerlendirilmesinde, deneysel ses geçiş kaybı değerlerinin kullanılması gerçekçi ve doğru bir yaklaşım olacaktır.

#### 7.2.6 DENEYSEL YÖNTEM SONUÇLARI YLA NCB KRİTERİNE BAĞLI SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Deneysel olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerlerinin, NCB kriterine bağlı olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerleriyle karşılaştırılması aşağıda Tablo 7.6'da gösterilmiştir.

Tablo 7. 6: Deneysel – NCB Kriterine Bağlı Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması

|                            | 125   | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $L_{dış}$ , dB             | 77.60 | 65.10 | 63.60 | 66.90 | 65.10 | 59.60 |
| $L_{kri}$ , dB             | 50.00 | 44.00 | 40.00 | 37.00 | 33.00 | 30.00 |
| NCB 35                     |       |       |       |       |       |       |
| $10 \log S/A$              | 2.31  | 2.49  | 2.17  | 2.27  | 2.23  | 2.10  |
| $R_{ist}$ , dB             | 29.91 | 23.59 | 25.77 | 32.17 | 34.33 | 31.70 |
| $R_{T,Den}$ , dB           | 31.21 | 28.49 | 24.77 | 21.67 | 17.23 | 12.60 |
| $R_{ist} - R_{T,Den}$ , dB | -1.30 | -4.90 | 1.00  | 10.50 | 17.10 | 19.10 |

Deneysel yöntem sonuçlarıyla, NCB kriterine bağlı sonuçlar karşılaştırıldığında özellikle yüksek frekanslarda, ses geçiş kaybı değerleri arasındaki fark artmaktadır. 125, 250 ve 500 Hz frekanslarda, yapı kabuğu istenen ses geçiş kaybı değerini sağlamaktadır. Ancak 1000, 2000 ve 4000 Hz frekanslarda, istenen iç mekan gürültü düzeyi sağlanmamaktadır. Bunun sebebi, yapı kabuğunun yüksek frekanslardaki ses geçiş kaybı değerlerinin düşük olmasıdır. Mevcut durumdaki dış gürültü düzeyine bağlı olarak yapı kabuğunun yüksek frekanslarda sağladığı ses geçiş kaybı değerleri yetersizdir. İç mekanın kullanıma amacıyla bağlı olarak sağlanması gereken konfor yetersizdir. Özellikle ofislerde, gürültüden dolayı, konuşmanın engellenmesi, iş performansı nın azalması gibi Bölüm 3'te kapsamlı anlatılmış sorunlar görülebilir.

### 7.3 TURKCELL BAYİSİNİN (BEŞİKTAŞ) KURAMSAL VE DENEYSEL AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

#### 7.3.1 GİRİŞ

Turkcell Bayii olarak kullanılan yapı, Dolmabahçe Caddesi üzerinde yer almaktadır. Yapının projeleri Ek B’de verilmiştir.

Yapı, betonarme bir yapıdır. Öçümü yapılan yapı kabuğu, 20 cm kalınlığında betonarme kiriş ve 6 mm kalınlığında cımdan oluşmaktadır. Gürültü ölçümü, zemin katta, sabah saat 10:00 civarında yapılmıştır.

#### 7.3.2 DENEYSEL YÖNTEMLE YAPI KABUĞUNUN SES GEÇİŞ KAYBİNIN HESAPLANMASI

Bölüm 6’da anlatılan deney düzeneğine uygun olarak, yapı kabuğunun, ses basınç düzeyi ölçerleri kullanılarak ölçülen iç ve dış gürültü seviyeleri, kablolarla çift kanallı teybe kaydedilmiştir. Daha sonra deney ölçümleri, Gürültü Düzeyi Analizörü’nde ve Kanal Analizörü programında analiz edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen değerler aşağıda Tablo 7.7’de verilmiştir.

Tablo 7.7: Turkcell Bayii – Gürültü Analiz Sonuçları

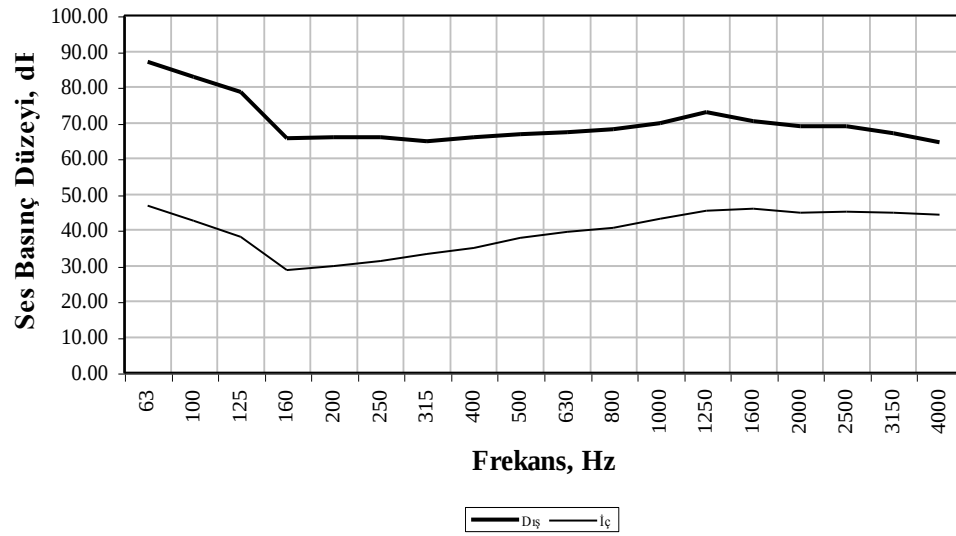
| (dBA)    | Short $L_{eq}$ | Med. $L_{eq}$ | Long $L_{eq}$ | 1 sec. $L_{eq}$ | $L_{max}$ | SEL    | Sound L. |
|----------|----------------|---------------|---------------|-----------------|-----------|--------|----------|
| Dış      | 70.30          | 74.90         | 74.80         | 72.20           | 96.80     | 110.80 | 76.60    |
| İç       | 45.00          | 63.10         | 63.40         | 23.40           | 59.80     | 77.80  | 23.50    |
| Dış - İç | 25.30          | 11.80         | 11.40         | 48.80           | 37.00     | 33.00  | 53.10    |

Kanal Analizörü programında, iç ve dış gürültü düzeylerinin oktav band ve 1 / 3 oktav band frekans dağılımı bulunmuştur. Aşağıda Tablo 7.8’de gürültü düzeylerinin dB olarak frekans dağılımı gösterilmiştir.

Tablo 7. 8 Turkcell Bayii – Frekans Analizi

|                 | Frekans (Hz) |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                 | 63           | 100   | 125   | 160   | 200   | 250   | 315   | 400   | 500   |
| <b>Dış (dB)</b> | 87.00        | 82.70 | 78.50 | 65.70 | 65.80 | 66.00 | 64.70 | 66.00 | 66.70 |
| <b>İç (dB)</b>  | 46.70        | 42.40 | 38.10 | 28.70 | 29.90 | 31.20 | 33.20 | 35.00 | 37.80 |
|                 | 630          | 800   | 1000  | 1250  | 1600  | 2000  | 2500  | 3150  | 4000  |
| <b>Dış (dB)</b> | 67.40        | 68.20 | 69.90 | 73.00 | 70.50 | 69.10 | 69.00 | 67.00 | 64.50 |
| <b>İç (dB)</b>  | 39.40        | 40.70 | 43.10 | 45.40 | 46.00 | 44.80 | 45.20 | 44.90 | 44.10 |

Tablo 7. 8’de verilmiş olan ses basınç düzeyi – frekans ilişkisi, aşağıda Şekil 7.2’de, iç ve dış ortamiçin grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7. 2 İç ve Dış Ses Basınç Düzeyi – Frekans İlişkisi

Deneyisel yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybı, oktav band merkez frekansları için, TS – ISO 140 / 5’te belirtilen yöntemle hesaplanmıştır. Eşdeğer emicilik alanının ( A) hesaplanması, Tablo 7.9’da gösterilmiştir.

|          |                                                                        |   |          |
|----------|------------------------------------------------------------------------|---|----------|
|          | $R_T = L_{du} - L_{iç} + 10 \log \frac{S}{A} \Delta \Delta \text{ dB}$ |   |          |
| 125 Hz,  | $R_T = 78.50 - 38.10 + 10 \log \frac{9.555}{2.58}$                     |   |          |
| 125 Hz,  | $R_T = 46.09 \text{ dB}$                                               |   |          |
| 250 Hz,  | $R_T = 66.00 - 31.20 + 10 \log \frac{9.555}{2.02}$                     |   |          |
| 250 Hz,  | $R_T = 41.55 \text{ dB}$                                               |   |          |
| 500 Hz,  | $R_T = 66.70 - 37.80 + 10 \log \frac{9.555}{3.33}$                     |   |          |
| 500 Hz,  | $R_T = 33.48 \text{ dB}$                                               |   |          |
| 1000 Hz, | $R_T = 69.90 - 43.10 + 10 \log \frac{9.555}{3.97}$                     |   |          |
| 1000 Hz, | $R_T = 30.61 \text{ dB}$                                               |   |          |
| 2000 Hz, | $R_T = 69.10 - 44.80 + 10 \log \frac{9.555}{4.73}$                     |   |          |
| 2000 Hz, | $R_T = 27.35 \text{ dB}$                                               |   |          |
| 4000 Hz, | $R_T = 64.50 - 44.10 + 10 \log \frac{9.555}{5.56}$                     |   |          |
| 4000 Hz, | $R_T$                                                                  | = | 22.75 dB |

Tablo 7. 9: Türkcell Bayii – Eşdeğer Emicilik Alanının (A) Hesaplanması

| ELEMEN ADI                                      | TOPLAM<br>S (m <sup>2</sup> ) | ALAN<br>(m <sup>2</sup> ) | MALZEME      | FREKANS (Hz) |             |          |             |          |             |          |             |          |             |          |             |
|-------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|
|                                                 |                               |                           |              | 125          |             | 250      |             | 500      |             | 1000     |             | 2000     |             | 4000     |             |
|                                                 |                               |                           |              | $\alpha$     | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ |
| A DUVARI                                        | 13.92                         | 13.92                     | Tuğla Duvar  | 0.01         | 0.14        | 0.01     | 0.14        | 0.02     | 0.28        | 0.02     | 0.28        | 0.02     | 0.28        | 0.02     | 0.28        |
| B DUVARI                                        | 13.92                         | 13.92                     | Tuğla Duvar  | 0.01         | 0.14        | 0.01     | 0.14        | 0.02     | 0.28        | 0.02     | 0.28        | 0.02     | 0.28        | 0.02     | 0.28        |
| ÖN DUVAR                                        | 9.52                          | 1.85                      | Betonarme    | 0.01         | 0.02        | 0.01     | 0.02        | 0.01     | 0.02        | 0.02     | 0.04        | 0.02     | 0.04        | 0.02     | 0.04        |
|                                                 |                               | 7.70                      | 6 mm. cam    | 0.15         | 1.15        | 0.05     | 0.38        | 0.04     | 0.31        | 0.03     | 0.23        | 0.02     | 0.15        | 0.02     | 0.15        |
| ARKA DUVAR                                      | 9.52                          | 9.52                      | Tuğla Duvar  | 0.01         | 0.09        | 0.01     | 0.09        | 0.02     | 0.19        | 0.02     | 0.19        | 0.02     | 0.19        | 0.02     | 0.19        |
| DÖŞEME                                          | 16.36                         | 16.36                     | Granit       | 0.01         | 0.16        | 0.01     | 0.16        | 0.01     | 0.16        | 0.01     | 0.16        | 0.02     | 0.33        | 0.02     | 0.33        |
| TAVAN                                           | 16.36                         | 16.36                     | Alçı + beton | 0.013        | 0.21        | 0.015    | 0.24        | 0.02     | 0.33        | 0.03     | 0.49        | 0.04     | 0.65        | 0.05     | 0.82        |
| CAM TEZGAH                                      | 0.80                          | 0.80                      | Cam          | 0.08         | 0.06        | 0.04     | 0.03        | 0.03     | 0.02        | 0.03     | 0.02        | 0.02     | 0.01        | 0.02     | 0.01        |
| MASA                                            | 0.96                          | 0.96                      | Ahşap        | 0.14         | 0.13        | 0.10     | 0.096       | 0.06     | 0.057       | 0.08     | 0.077       | 0.10     | 0.096       | 0.10     | 0.096       |
| İNSAN                                           | 3.00                          | 3.00                      |              | 0.16         | 0.48        | 0.24     | 0.72        | 0.56     | 1.68        | 0.69     | 2.07        | 0.81     | 2.43        | 0.78     | 2.34        |
| HACİM (m <sup>3</sup> )                         | 44.50                         | 44.50                     |              | 0.00         | 0.00        | 0.00     | 0.00        | 0.00     | 0.00        | 0.003    | 0.13        | 0.006    | 0.27        | 0.023    | 1.02        |
| EŞDEĞER EMİCİLİK ALANI, A, sabin.m <sup>2</sup> |                               |                           |              | 2.58         |             | 2.02     |             | 3.33     |             | 3.97     |             | 4.73     |             | 5.56     |             |

### 7.3.3 KURAMSAL YÖNTEMLE YAPI KABUĞUNUN SES GEÇİŞ KAYBINI HESAPLANMASI

Yapı kabuğu, betonarme kiriş ve 6 mm kalınlığında cam vitrin ve kapıdan oluşmaktadır. Öncelikle, betonarme kirişin kritik frekansı ve rezonans frekansı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

$$f_c = c^2 / (1.8 \times c_L \times d)$$

$$f_c = 344^2 / (1.8 \times 3400 \times 0.2)$$

$$f_c = 96.68 \text{ Hz}$$

$$f_{nm} = 0.45 \times c_L \times d \times \left[ \left( \frac{1}{l_x} \right)^2 + \left( \frac{1}{l_y} \right)^2 \right]$$

$$f_{nm} = 0.45 \times 3400 \times 0.2 \times \left[ \left( \frac{1}{3.72} \right)^2 + \left( \frac{1}{2.73} \right)^2 \right]$$

$$f_{nm} = 63.16 \text{ Hz}$$

$$2f_{nm} = 126.32 \text{ Hz}$$

$f_{nm}$  ile  $2f_{nm}$  (63.16 – 126.32 Hz) arasında rezonans oluşmaktadır. Kritik frekans (96.68 Hz) ise  $f_{nm}$  ile  $2f_{nm}$  arasındadır. Bu durum Şekil 6.4'te gösterilmiştir. Kritik frekansta ve rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybı değerleri, Bölüm 6'da anlatılmış olan grafiksel yöntemle, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'ya bağlı olarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$\rho_s = \rho \times d = 2500 \times 0.2 = 500 \text{ kg/m}^2$$

$$\rho_s = \text{Yapı elemanının alan ağırlığı, kg/m}^2$$

$$\rho = \text{Yapı elemanının yoğunluğu, kg/m}^3$$

$$d = \text{Yapı elemanının kalınlığı, m}$$

$$\rho_s \times f_c = 500 \times 96.68 = 48340 \text{ Hz.kg/m}^2$$

Bu değer kullanılarak, Şekil 6.5'ten  $R_0(f_c)$  değeri 51.5 dB olarak bulunmuştur. Şekil 6.6'da, kayıp faktörü  $\eta = 0.02$  olacak şekilde  $[R_f(f_c) - R_0(f_c)]$  değeri -27dB olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, kritik frekansta oluşan ses geçiş kaybı değeri 6.18 bağıntısı kullanılarak aşığıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$R_f(f_c) = [R_f(f_c) - R_0(f_c)] + R_0(f_c)$$

$$R_f(f_c) = -27 + 51.5$$

$$R_f(f_c) = 24.5 \text{ dB}$$

Rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybını hesaplamak için öncelikle, Şekil 6.6'da kullanmak üzere  $f_{nm}/f_c$  oranı bulunmuştur.

$$f_{nm}/f_c = 63.16 / 96.68$$

$$f_{nm}/f_c = 0.65$$

Bu orana bağlı olarak,  $[R_f(f_{nm}) - R_0(f_c)]$  değeri -12 dB olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybı değeri 6.18 bağıntısı kullanılarak aşığıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$R_f(f_{nm}) = [R_f(f_{nm}) - R_0(f_c)] + R_0(f_c)$$

$$R_f(f_{nm}) = -12 + 51.5$$

$$R_f(f_{nm}) = 39.5 \text{ dB}$$

Kritik frekans, rezonans frekansı ile rezonans frekansının iki katı arasında kaldığında, rezonans frekansının altında kalan frekanslarda ses geçiş kaybı, malzemenin sertliğine bağlıdır. Kritik frekans ile rezonans frekansı arasında ise kütle kanunu geçerlidir. Rezonans frekansının iki katındaki frekansın üzerinde ise ses geçiş kaybı, kayıp faktörüne bağlıdır. Bu durum Şekil 6.4'te gösterilmiştir.

|          |                                                                                                                                     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | $R_{\text{duv}} = 20 \times \log(f \times \rho \times d) + 10 \times \log(\sqrt{f/f_c}) - 62 \text{ dB} \Lambda \Lambda \text{ dB}$ |
| 125 Hz,  | $R_{\text{duv}} = 20 \times \log(125 \times 2500 \times 0.2) + 10 \times \log(\sqrt{125/96.68}) - 62 \text{ dB}$                    |
| 125 Hz,  | $R_{\text{duv}} = 35.04 \text{ dB}$                                                                                                 |
| 250 Hz,  | $R_{\text{duv}} = 20 \times \log(250 \times 2500 \times 0.2) + 10 \times \log(\sqrt{250/96.68}) - 62 \text{ dB}$                    |
| 250 Hz,  | $R_{\text{duv}} = 42.00 \text{ dB}$                                                                                                 |
| 500 Hz,  | $R_{\text{duv}} = 20 \times \log(500 \times 2500 \times 0.2) + 10 \times \log(\sqrt{500/96.68}) - 62 \text{ dB}$                    |
| 500 Hz,  | $R_{\text{duv}} = 49.53 \text{ dB}$                                                                                                 |
| 1000 Hz, | $R_{\text{duv}} = 20 \times \log(1000 \times 2500 \times 0.2) + 10 \times \log(\sqrt{1000/96.68}) - 62 \text{ dB}$                  |
| 1000 Hz, | $R_{\text{duv}} = 57.05 \text{ dB}$                                                                                                 |
| 2000 Hz, | $R_{\text{duv}} = 20 \times \log(2000 \times 2500 \times 0.2) + 10 \times \log(\sqrt{2000/96.68}) - 62 \text{ dB}$                  |
| 2000 Hz, | $R_{\text{duv}} = 64.58 \text{ dB}$                                                                                                 |
| 4000 Hz, | $R_{\text{duv}} = 20 \times \log(4000 \times 2500 \times 0.2) + 10 \times \log(\sqrt{4000/96.68}) - 62 \text{ dB}$                  |
| 4000 Hz, | $R_{\text{duv}} = 72.01 \text{ dB}$                                                                                                 |

Yapı elemanının kritik frekansta, rezonans frekansında ve oktav band frekanslarındaki ses geçiş kayıpları, aşağıda Tablo 7.10’da gösterilmiştir.

Tablo 7. 10: Yapı Elemanının Kuransal Ses Geçiş Kayıp Değerleri

|                       | f <sub>nm</sub> | f <sub>c</sub> |       | 2f <sub>nm</sub> |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-----------------|----------------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | 63.16           | 96.68          | 125   | 126.32           | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
| R <sub>duv</sub> , dB | 39.50           | 24.50          | 35.04 | 28.00            | 42.00 | 49.53 | 57.05 | 64.58 | 72.01 |

Yapı kabuğundaki kapı ve pencere tipi aynıdır ve 6 mm camdan oluşmaktadır. 6 mm kalınlığındaki camın frekanslara bağlı olarak sağladığı ses geçiş kaybı değerleri aşağıda gösterilmiştir.

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 25 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 28 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 31 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 34 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 30 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 37 \text{ dB}$$

Bölüm 6’da anlatılan kuransal yöntemle göre  $S_{pen} / S_{duv}$  oranı bulunmuş ve oktav band frekans değerleri için  $R_{duv} - R_{pen}$  farkları alınmıştır.

$$S_{kapı} / S_{duv} = 7.7 / 1.855 = 4.15 \cong 4$$

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{duv} - R_{pen} = 35.04 - 25 = 10.04 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{duv} - R_{pen} = 42.00 - 28 = 14.00 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{duv} - R_{pen} = 49.53 - 31 = 18.53 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} - R_{pen} = 57.05 - 34 = 23.05 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} - R_{pen} = 64.58 - 30 = 34.58 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} - R_{\text{pen}} = 72.01 - 37 = 35.01 \text{ dB}$$

Şekil 6.7’deki grafik kullanılarak, oktav band frekans değerleri için, ses yalıtım kaybı değeri olan  $x$  bulunmuştur.

$$R_T = R_{\text{duv}} - x$$

$$125 \text{ Hz}, \quad x = 9.00 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 35.04 - 9.00 = 26.04 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad x = 13.00 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 42.00 - 13.00 = 29.00 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad x = 17.00 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 49.53 - 17.00 = 32.53 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad x = 22.00 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 57.05 - 22.00 = 35.05 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad x = 33.50 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 64.58 - 33.50 = 31.08 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad x = 34.00 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 72.01 - 34.00 = 38.01 \text{ dB}$$

#### 7.3.4 İNNAİÇİ NCB KRİTERİNİN SEÇİLMESİ

İç gürültü düzeyi ölçülen mekan bir dükkandır. Bu tip mekanlar için olması gereken NCB değeri 40’tır. NCB 40’ın oktav band merkez frekanslarına göre dağılım aşağıda gösterilmiştir.

$$125 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 54 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 49 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 45 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 42 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 38 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 35 \text{ dB}$$

İç mekanda olması gereken ses düzeylerine ( $L_{kriter}$ ) bağlı olarak yapı kabuğunun sağlanması gereken ses geçiş kaybı ( $R_{st}$ ), frekanslara bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$R_{st} = L_{du} - L_{kri} + 10 \log \frac{S}{A} \text{ dB}$$

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 78.50 - 54.00 + 10 \log \frac{9.555}{2.58}$$

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 30.19 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 66.00 - 49.00 + 10 \log \frac{9.555}{2.02}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 23.75 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 66.70 - 45.00 + 10 \log \frac{9.555}{3.33}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 26.28 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 69.90 - 42.00 + 10 \log \frac{9.555}{3.97}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 31.71 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 69.10 - 38.00 + 10 \log \frac{9.555}{4.73}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 34.15 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 64.50 - 35.00 + 10 \log \frac{9.555}{5.56}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 31.85 \text{ dB}$$

### 7.3.5 DENEYSEL VE KURAMSAL YÖNTEM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Yapı kabuğunun, kuramsal olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerleri ile deneysel olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerlerinin, oktav band frekansları için karşılaştırılması aşağıda Tablo 7.11’de gösterilmiştir.

Tablo 7. 11: Kuramsal –Deneysel Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması

|                  | 125   | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $L_{dış}$ , dB   | 78.50 | 66.00 | 66.70 | 69.90 | 69.10 | 64.50 |
| $L_{iç}$ , dB    | 38.10 | 31.20 | 37.80 | 43.10 | 44.80 | 44.10 |
| 10 log S/A       | 5.69  | 6.75  | 4.58  | 3.81  | 3.05  | 2.35  |
| $R_{T,Den}$ , dB | 46.09 | 41.55 | 33.48 | 30.61 | 27.35 | 22.75 |

|                                             | 125    | 250    | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
|---------------------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| $R_{duv}$ , dB                              | 35.04  | 42.00  | 49.53 | 57.05 | 64.58 | 72.01 |
| $R_{pen}$ , dB                              | 25.00  | 28.00  | 31.00 | 34.00 | 30.00 | 37.00 |
| $R_{duv}-R_{pen}$ , dB                      | 10.04  | 14.00  | 18.53 | 23.05 | 34.58 | 35.01 |
| x                                           | 9.00   | 13.00  | 17.00 | 22.00 | 33.50 | 34.00 |
| $R_{T,Teo}$ , dB                            | 26.04  | 29.00  | 32.53 | 35.05 | 31.08 | 38.01 |
| $R_{T,Den}$ , dB                            | 46.09  | 41.55  | 33.48 | 30.61 | 27.35 | 22.75 |
| Karşılaştırma<br>$R_{T,Teo}-R_{T,Den}$ , dB | -20.05 | -12.55 | -0.95 | 4.44  | 3.73  | 15.26 |

Deneysel ve kuramsal sonuçlar karşılaştırıldığında, kuramsal olarak bulunmuş ses geçiş kaybı değerlerinin, deneysel ses geçiş kaybı değerlerinden, yüksek frekanslarda (1000, 2000, 4000 Hz) daha yüksek olduğu görülmektedir. Aşak frekanslarda (125, 250 Hz) ise deneysel ses geçiş kaybı değerleri, kuramsal ses geçiş kaybı değerlerinden yüksektir. Genellikle deneysel ses geçiş kaybı değerlerinin düşük olması beklenir. Ancak, belirli frekanslarda, yapı kabuğunun gerçek ortadaki ses yalıtım performansı, kuramsal değerlerden yüksek olabilir. Bunun farklı nedenleri vardır. Deneysel ölçüm yapıldığında, 125 ve 250 Hz frekanslarında, iç gürültü düzeyi düşük seviyededir. Bu sebeple, bu frekanslardaki deneysel ses geçiş kaybı değerleri yüksek çıkmıştır. İkinci neden olarak,

kuramsal olarak, 125 Hz frekansı nın kritik frekansa göre konumu gösterilebilir. 125 Hz frekansı, kritik frekansa (96.68 Hz) yakın bir değerdedir. Bu durum da 125 Hz’deki kuramsal ses geçiş kaybı değerini düşürmektedir.

Özellikle yüksek frekanslarda, kuramsal ses geçiş kaybı değerleri ile deneysel ses geçiş kaybı değerleri arasındaki fark, kayıp faktörüne bağlı olarak yapılan hesaplardan kaynaklanmaktadır. Kayıp faktörüne bağlı olarak ses geçiş kaybı hesaplanırken, her oktav bandda, ses geçiş kaybı 7.5 dB artmaktadır. Gerçek ortam koşullarında ise ideal ortam koşulları yoktur. Yapı kabuğundaki elemanların özellikleri, literatür değerlerinden farklı olabilir. Bu sebeple, yapı kabuğunun ses yalıtım performansının değerlendirilmesinde, deneysel ses geçiş kaybı değerlerinin kullanılması gerçekçi ve doğru bir yaklaşımla olacaktır. Deneysel ses geçiş kaybı değerleri, yapı kabuğunun gerçek ortamdaki ses yalıtım performansını göstermektedir. Bu sebeple elde edilen sonuçlar daha gerçekçidir. Kuramsal yöntemde kullanılan değerler ise literatürden alınmış ideal koşullardaki değerlerdir.

### 7.3.6 DENEYSEL YÖNTEM SONUÇLARIYLA NCB KRİTERİNE BAĞLI SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Deneysel olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerlerinin, NCB kriterine bağlı olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerleriyle karşılaştırılması aşağıda Tablo 7.12’de gösterilmiştir.

Tablo 7. 12: Deneysel – NCB Kriterine Bağlı Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması

|                            | 125    | 250    | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
|----------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| $L_{dış}$ , dB             | 78.50  | 66.00  | 66.70 | 69.90 | 69.10 | 64.50 |
| $L_{kri}$ , dB             | 54.00  | 49.00  | 45.00 | 42.00 | 38.00 | 35.00 |
| NCB 40                     |        |        |       |       |       |       |
| 10 log S/A                 | 5.69   | 6.75   | 4.58  | 3.81  | 3.05  | 2.35  |
| $R_{ist}$ , dB             | 30.19  | 23.75  | 26.28 | 31.71 | 34.15 | 31.85 |
| $R_{T,Den}$ , dB           | 46.09  | 41.55  | 33.48 | 30.61 | 27.35 | 22.75 |
| $R_{ist} - R_{T,Den}$ , dB | -15.90 | -17.80 | -7.20 | 1.10  | 6.80  | 9.10  |

DeneySEL yöntem sonuçları yla, NCB kriterine bağı sonuçlar karşılaştırıld ında özellikle yüksek frekanslarda, ses geçiş kaybı değerleri arasındaki fark art maktadır. 125, 250 ve 500 Hz frekanslarda, yapı kabuğı istenen ses geçiş kaybı değerinden fazlasını sağlamaktadır. Ancak 1000, 2000 ve 4000 Hz frekanslarda, istenen iç mekân gürültü düzeyi sağlanmamaktadır. Bunun sebebi, yapı kabuğunun yüksek frekanslardaki ses geçiş kaybı değerlerinin düşük olmasıdır. Mevcut durumdaki dış gürültü düzeyine bağı olarak yapı kabuğunun yüksek frekanslarda sağladığı ses geçiş kaybı değerleri yetersizdir. A çak frekanslarda ise, deneySEL ses geçiş kaybı değerleri daha yüksektir. DeneySEL ölçümü yapıldığı anda, 125 ve 250 Hz frekanslarında, iç gürültü düzeyi düşük seviyededir. Bu sebeple, bu frekanslardaki deneySEL ses geçiş kaybı değerleri yüksek çıkmıştır. İç mekânın kullanı ma ma cı na bağı olarak sağlanması gereken konfor düzeyi, al çak frekanslarda yeterliyken, yüksek frekanslarda yetersizdir. Özellikle dükkanlarda, gürültüden dolayı, konuş ma nı n engellenmesi, iş perfor mansı nı n azalması gibi Bölüm 3'te kapsa mı nı anlatıl mış sorunlar görülebilir.

#### **7.4 VAKIFLAR BANKASI BİNASI NIN (BEŞİ KTAŞ) KURAMSAL VE DENEYSEL AÇI DAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

##### **7.4.1. GİRİŞ**

Vakıflar Bankası olarak kullanılan yapı, Dol mabahçe Caddesi üzerinde yer almaktadır. Yapı nı n projeleri Ek C de verilmiştir.

Yapı, betonarme bir yapıdır. Öçümü yapılan yapı kabuğı, 20 cm kalınlığında betonarme giriş ve çift camdan oluş maktadır. Gürültü ölçümü, 1. katta, sabah saat 10:30 civarında yapılmıştır.

##### **7.4.2. DENEYSEL YÖNTEMLE YAPI KABUĞUNUN SES GEÇİŞ KAYBI NIN HESAPLANMASI**

Bölüm 6'da anlatılan deney düzeneğine uygun olarak, yapı kabuğunun, ses basınç düzeyi ölçerleri kullanılarak ölçülen iç ve dış gürültü seviyeleri, kablolarla çift kanallı teybe kaydedilmiştir. Daha sonra deney ölçümleri, Gürültü Düzeyi Analizörü'nde ve Kanal Analizörü programında analiz edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen değerler aşağıda Tablo 7.13'de verilmiştir.

Tablo 7. 13: Vakıflar Bankası - Gürültü Analiz Sonuçları

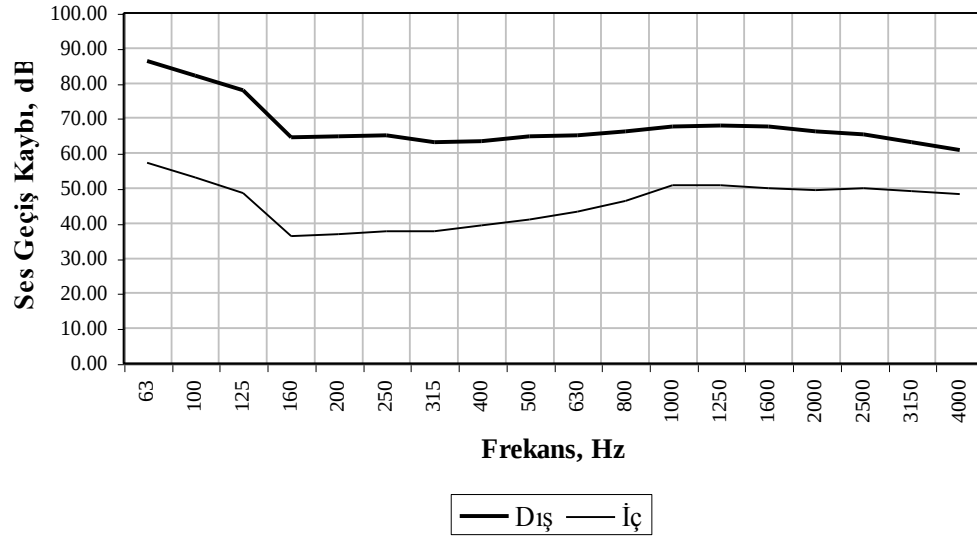
| (dBA)           | Short L <sub>eq</sub> | Med. L <sub>eq</sub> | Long L <sub>eq</sub> | 1 sec. L <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub> | SEL    | Sound L. |
|-----------------|-----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------|--------|----------|
| <b>Dış</b>      | 64.40                 | 79.40                | 79.00                | 64.10                  | 92.00            | 109.70 | 63.80    |
| <b>İç</b>       | 61.10                 | 64.70                | 64.60                | 34.20                  | 65.60            | 83.50  | 33.80    |
| <b>Dış - İç</b> | 3.30                  | 14.70                | 14.40                | 29.90                  | 26.40            | 26.20  | 30.00    |

Kanal Analizörü programında, iç ve dış gürültü düzeylerinin oktav band ve 1 / 3 oktav band frekans dağılımı bulunmuştur. Aşağıda Tablo 7.14'te gürültü düzeylerinin dB olarak frekans dağılımı gösterilmiştir.

Tablo 7. 14: Vakıflar Bankası - Frekans Analizi

|                 | Frekans (Hz) |            |             |             |             |             |             |             |             |
|-----------------|--------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                 | 63           | 100        | 125         | 160         | 200         | 250         | 315         | 400         | 500         |
| <b>Dış (dB)</b> | 86.40        | 82.10      | 77.80       | 64.60       | 64.80       | 65.10       | 63.10       | 63.50       | 64.90       |
| <b>İç (dB)</b>  | 57.30        | 53.00      | 48.70       | 36.40       | 37.00       | 37.70       | 37.80       | 39.40       | 41.10       |
|                 | <b>630</b>   | <b>800</b> | <b>1000</b> | <b>1250</b> | <b>1600</b> | <b>2000</b> | <b>2500</b> | <b>3150</b> | <b>4000</b> |
| <b>Dış (dB)</b> | 65.20        | 66.10      | 67.70       | 68.00       | 67.70       | 66.20       | 65.50       | 63.10       | 60.90       |
| <b>İç (dB)</b>  | 43.30        | 46.40      | 50.90       | 50.90       | 50.10       | 49.40       | 49.90       | 49.10       | 48.30       |

Tablo 7.14'te verilmiş olan ses basınç düzeyi – frekans ilişkisi, aşağıda Şekil 7.3'te, iç ve dış ortam için grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7. 3 İç ve Dış Ses Basıncı Düzeyi – Frekans İlişkisi

DeneySEL yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybı, oktav band merkez frekansları için, TS – ISO 140 / 5’te belirtilen yöntemle hesaplanmıştır. Eşdeğer emicilik alanının (A) hesaplanması, Tablo 7.15’te gösterilmiştir.

$$R_T = L_{du} - L_{iç} + 10 \log \frac{S}{A} \text{ dB}$$

$$125 \text{ Hz, } R_T = 77.80 - 48.70 + 10 \log \frac{29.83}{15.278}$$

$$125 \text{ Hz, } R_T = 32.01 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz, } R_T = 65.10 - 37.70 + 10 \log \frac{29.83}{9.925}$$

$$250 \text{ Hz, } R_T = 32.18 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz, } R_T = 64.90 - 41.10 + 10 \log \frac{29.83}{11.278}$$

$$500 \text{ Hz, } R_T = 28.02 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_T = 67.70 - 50.90 + 10 \log \frac{29.83}{13.772}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_T = 20.16 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_T = 66.20 - 49.40 + 10 \log \frac{29.83}{10.943}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_T = 21.15 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_T = 60.90 - 48.30 + 10 \log \frac{29.83}{16.304}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_T = 15.22 \text{ dB}$$

Tablo 7. 15: Vakıflar Bankası – Eşdeğer Emicilik Alanının (A) Hesaplanması

| ELEMEN ADI                                      | TOPLAM<br>S (m <sup>2</sup> ) | ALAN<br>(m <sup>2</sup> ) | MALZEME      | FREKANS (Hz) |             |          |             |          |             |          |             |          |             |          |             |
|-------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|
|                                                 |                               |                           |              | 125          |             | 250      |             | 500      |             | 1000     |             | 2000     |             | 4000     |             |
|                                                 |                               |                           |              | $\alpha$     | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ |
| A DUVARI                                        | 9.28                          | 9.28                      | Alçı duvar   | 0.27         | 2.506       | 0.10     | 0.928       | 0.05     | 0.464       | 0.04     | 0.371       | 0.03     | 0.278       | 0.03     | 0.278       |
| B DUVARI                                        | 13.50                         | 13.50                     | Çift Cam     | 0.10         | 1.350       | 0.07     | 0.945       | 0.05     | 0.675       | 0.03     | 0.405       | 0.02     | 0.270       | 0.02     | 0.270       |
| ÖN DUVAR                                        | 29.83                         | 6.15                      | Betonarme    | 0.01         | 0.061       | 0.01     | 0.061       | 0.01     | 0.061       | 0.02     | 0.123       | 0.02     | 0.123       | 0.02     | 0.123       |
|                                                 |                               | 23.68                     | Çift Cam     | 0.10         | 2.368       | 0.07     | 1.658       | 0.05     | 1.184       | 0.03     | 0.710       | 0.02     | 0.474       | 0.02     | 0.474       |
| ARKA DUVAR                                      | 22.15                         | 12.32                     | Alçı duvar   | 0.27         | 3.326       | 0.10     | 1.232       | 0.05     | 0.616       | 0.04     | 0.493       | 0.03     | 0.369       | 0.03     | 0.369       |
|                                                 |                               | 6.25                      | Cam Tuğla    | 0.18         | 1.125       | 0.06     | 0.375       | 0.04     | 0.250       | 0.03     | 0.187       | 0.02     | 0.125       | 0.02     | 0.125       |
|                                                 |                               | 2.18                      | Ahşap Kapı   | 0.14         | 0.300       | 0.10     | 0.218       | 0.06     | 0.130       | 0.08     | 0.174       | 0.10     | 0.218       | 0.10     | 0.218       |
|                                                 |                               | 1.40                      | Çift Cam     | 0.10         | 0.140       | 0.07     | 0.098       | 0.05     | 0.070       | 0.03     | 0.042       | 0.02     | 0.028       | 0.02     | 0.028       |
| DÖŞEME                                          | 43.07                         | 43.07                     | Halı         | 0.04         | 1.723       | 0.04     | 1.723       | 0.08     | 3.445       | 0.12     | 5.168       | 0.03     | 1.292       | 0.10     | 4.307       |
| TAVAN                                           | 43.07                         | 43.07                     | Alçı + beton | 0.013        | 0.560       | 0.015    | 0.646       | 0.02     | 0.861       | 0.03     | 1.292       | 0.04     | 1.723       | 0.05     | 2.153       |
| KOLONLAR                                        | 19.78                         | 19.78                     | Alçı+Beton   | 0.013        | 0.257       | 0.015    | 0.297       | 0.02     | 0.396       | 0.03     | 0.593       | 0.04     | 0.790       | 0.05     | 0.989       |
| MASA                                            | 5.44                          | 5.44                      | Ahşap        | 0.14         | 0.762       | 0.10     | 0.544       | 0.06     | 0.326       | 0.08     | 0.435       | 0.10     | 0.544       | 0.10     | 0.544       |
| İNSAN                                           | 5.00                          | 5.00                      |              | 0.16         | 0.800       | 0.24     | 1.200       | 0.56     | 2.800       | 0.69     | 3.450       | 0.81     | 4.050       | 0.78     | 3.900       |
| HACİM (m <sup>3</sup> )                         | 109.83                        | 109.83                    |              | 0.00         | 0.000       | 0.00     | 0.000       | 0.00     | 0.000       | 0.003    | 0.329       | 0.006    | 0.659       | 0.023    | 2.526       |
| EŞDEĞER EMİCİLİK ALANI, A, sabin.m <sup>2</sup> |                               |                           |              | 15.278       |             | 9.925    |             | 11.278   |             | 13.772   |             | 10.943   |             | 16.304   |             |

### 7.4.3. KURAMSAL YÖNTEMLE YAPI KABUĞUNUN SES GEÇİŞ KAYBINI HESAPLANMASI

Yapı kabuğu, betonarme kiriş ve çift çamdan oluşmaktadır. Öncelikle, betonarme kolon ve duvarın kritik frekansı ve rezonans frekansı ayrı ayrı hesaplanmıştır. Daha sonra oktav band frekanslarındaki ses geçiş kaybı değerleri ayrı olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

Betonarme Kolon:

$$f_c = c^2 / (1.8 \times c_L \times d)$$

$$f_c = 344^2 / (1.8 \times 3400 \times 0.62)$$

$$f_c = 31.19 \text{ Hz}$$

$$f_{nm} = 0.45 \times c_L \times d \times \left[ \left( \frac{1}{l_x} \right)^2 + \left( \frac{1}{l_y} \right)^2 \right]$$

$$f_{nm} = 0.45 \times 3400 \times 0.62 \times \left[ \left( \frac{1}{1.05} \right)^2 + \left( \frac{1}{2.55} \right)^2 \right]$$

$$f_{nm} = 1006.46 \text{ Hz}$$

$$2f_{nm} = 2012.92 \text{ Hz}$$

Kritik frekans ile rezonans frekansı arasındaki bölgede malzemenin kayıp faktörü etkilidir.  $f_{nm}$  ile  $2f_{nm}$  (1006.46 – 2012.92 Hz) arasında rezonans oluşmaktadır. 2012.92 Hz'in üzerindeki frekanslarda ise Kütle Kanunu geçerli olmaktadır. Bu durum Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Kritik frekansta ve rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybı değerleri, Bölüm 6'da anlatılmış olan grafiksel yöntemle, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'ya bağlı olarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$\rho_s = \rho \times d = 2500 \times 0.62 = 1550 \text{ kg/m}^2$$

$$\rho_s = \text{Yapı elemanının alan ağırlığı, kg/m}^2$$

$$\rho = \text{Yapı elemanının yoğunluğu, kg/m}^3$$

$$d = \text{Yapı elemanının kalınlığı, m}$$

$$\rho_s \times f_c = 1550 \times 31.19 = 48344.5 \text{ Hz. kg / m}^3$$

Bu değer kullanılarak, Şekil 6.5'ten  $R_0(f_c)$  değeri 51.5 dB olarak bulunmuştur. Şekil 6.6'da, kayıp faktörü  $\eta = 0.02$  olacak şekilde  $[R_f(f_c) - R_0(f_c)]$  değeri -27dB olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, kritik frekansta oluşan ses geçiş kaybı değeri 6.18 bağıntısı kullanılarak aşağdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$R_f(f_c) = [R_f(f_c) - R_0(f_c)] + R_0(f_c)$$

$$R_f(f_c) = -27 + 51.5$$

$$R_f(f_c) = 24.5 \text{ dB}$$

Rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybını hesaplamak için öncelikle, Şekil 6.6'da kullanmak üzere  $f_{nm} / f_c$  oranı bulunmuştur.

$$f_{nm} / f_c = 1006.46 / 31.19$$

$$f_{nm} / f_c = 32$$

Bu oran, Şekil 6.6'da bulunmaktadır. X eksenini üst sınır değeri 16'dır. Bu sebeple, betonarme kolonun rezonans frekansındaki ses geçiş kaybı hesaplanmıştır.

Oktav band merkez frekanslarında oluşan ses geçiş kaybı değerleri, Şekil 6.3'e bağlı olarak hesaplanmıştır. Kritik frekans ile rezonans frekans arasında kalan bölgede ses geçiş kaybı, malzemenin kayıp faktörüne bağlıdır. Rezonans frekansının iki katı kadar olan frekansın üstünde kütle kanunu etkili olmaktadır.

$$R_{duv} = 20 \times \log(f \times \rho \times d) + 10 \times \log(\sqrt{f / f_c}) - 62 \text{ dB}$$

$$125 \text{ Hz, } R_{duv} = 20 \times \log(125 \times 2500 \times 0.62) + 10 \times \log(\sqrt{125 / 31.19}) - 62 \text{ dB}$$

$$125 \text{ Hz, } R_{duv} = 46.75 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz, } R_{duv} = 20 \times \log(250 \times 2500 \times 0.62) + 10 \times \log(\sqrt{250 / 31.19}) - 62 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 54.28 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 20 \times \log(500 \times 2500 \times 0.62) + 10 \times \log\left(\sqrt{500/31.19}\right) - 62 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 61.81 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 20 \times \log(1000 \times 2500 \times 0.62) + 10 \times \log\left(\sqrt{1000/31.19}\right) - 62 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 69.34 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 20 \times \log(2000 \times 2500 \times 0.62) + 10 \times \log\left(\sqrt{2000/31.19}\right) - 62 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 76.86 \text{ dB}$$

$$R_{duv} = 20 \times \log(f \times m) - 47 \text{ dB} \Lambda \Lambda \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 20 \times \log(4000 \times 1550) - 47 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 88.85 \text{ dB}$$

Betonarme kolonun kritik frekansta ve oktav band frekanslarındaki ses geçiş kayıpları, aşağıda Tablo 7.16'da gösterilmiştir.

Tablo 7.16: Betonarme Kolonun Kuramsal Ses Geçiş Kayıp Değerleri

|                       | fc    |       |       |       |       | f <sub>nm</sub> |       | 2f <sub>nm</sub> |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|------------------|-------|
|                       | 31.19 | 125   | 250   | 500   | 1000  | 1006.46         | 2000  | 2012.9           | 4000  |
| R <sub>duv</sub> , dB | 24.50 | 46.75 | 54.28 | 61.81 | 69.34 |                 | 76.86 |                  | 88.85 |

Betonarme Dıvar:

$$f_c = c^2 / (1.8 \times c_L \times d)$$

$$f_c = 344^2 / (1.8 \times 3400 \times 0.2)$$

$$f_c = 96.68 \text{ Hz}$$

$$f_{nm} = 0.45 \times c_L \times d \times \left[ \left( \frac{1}{l_x} \right)^2 + \left( \frac{1}{l_y} \right)^2 \right]$$

$$f_{nm} = 0.45 \times 3400 \times 0.2 \times \left[ \left( \frac{1}{3.18} \right)^2 + \left( \frac{1}{1.13} \right)^2 \right]$$

$$f_{nm} = 268.97 \text{ Hz}$$

$$2f_{nm} = 537.94 \text{ Hz}$$

Kritik frekans ile rezonans frekansı arasındaki bölgede malzemenin kayıp faktörü etkilidir.  $f_{nm}$  ile  $2f_{nm}$  (268.97 – 537.94 Hz) arasında rezonans oluşmaktadır. 537.94 Hz'in üzerindeki frekanslarda ise Kütle Kanunu geçerli olmaktadır. Bu durum Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Kritik frekansta ve rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybı değerleri, Bölüm 6'da anlatılmış olan grafiksel yöntemle, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'ya bağlı olarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$\rho_s = \rho \times d = 2500 \times 0.2 = 500 \text{ kg/m}^2$$

$$\rho_s = \text{Yapı elemanının alan ağırlığı, kg/m}^2$$

$$\rho = \text{Yapı elemanının yoğunluğu, kg/m}^3$$

$$d = \text{Yapı elemanının kalınlığı, m}$$

$$\rho_s \times f_c = 500 \times 96.68 = 48340 \text{ Hz.kg/m}^2$$

Bu değer kullanılarak, Şekil 6.5'ten  $R_0(f_c)$  değeri 51.5 dB olarak bulunmuştur. Şekil 6.6'da, kayıp faktörü  $\eta = 0.02$  olacak şekilde  $[R_0(f_c) - R_0(f_c)]$  değeri -27dB olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, kritik frekansta oluşan ses geçiş kaybı değeri 6.18 bağıntısı kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$R_f(f_c) = [R(f_c) - R_0(f_c)] + R_0(f_c)$$

$$R_f(f_c) = -27 + 51.5$$

$$R_f(f_c) = 24.5 \text{ dB}$$

Rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybını hesaplamak için öncelikle, Şekil 6.6'da kullanmak üzere  $f_{nm}/f_c$  oranı bulunmuştur.

$$f_{nm}/f_c = 268.97 / 96.68$$

$$f_{nm}/f_c = 2.78$$

Bu orana bağlı olarak  $[R(f_{nm}) - R_0(f_c)]$  değeri  $-9 \text{ dB}$  olarak bulunmuştur. Sonuç olarak rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybı değeri 6.18 bağıntısı kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$R_f(f_{nm}) = [R(f_{nm}) - R_0(f_c)] + R_0(f_c)$$

$$R_f(f_{nm}) = -9 + 51.5$$

$$R_f(f_{nm}) = 42.5 \text{ dB}$$

Oktav band merkez frekanslarında oluşan ses geçiş kaybı değerleri, Şekil 6.3'e bağlı olarak hesaplanmıştır. Kritik frekans ile rezonans frekansı arasında kalan bölgede ses geçiş kaybı, malzemenin kayıp faktörüne bağlıdır. Rezonans frekansının iki katı kadar olan frekansın üstünde kütle kanunu etkili olmaktadır.

$$R_{duv} = 20 \times \log(f \times \rho \times d) + 10 \times \log(\sqrt{f/f_c}) - 62 \text{ dB} \wedge \wedge \text{ dB}$$

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 20 \times \log(125 \times 2500 \times 0.2) + 10 \times \log(\sqrt{125/96.68}) - 62 \text{ dB}$$

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 35.21 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 20 \times \log(250 \times 2500 \times 0.2) + 10 \times \log(\sqrt{250/96.68}) - 62 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 42.00 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 20 \times \log(500 \times 2500 \times 0.2) + 10 \times \log(\sqrt{500/96.68}) - 62 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 49.53 \text{ dB}$$

$$R_{duv} = 20 \times \log(f \times m) - 47 \text{ dB} \Delta \Delta \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 20 \times \log(1000 \times 500) - 47 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 66.98 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 20 \times \log(2000 \times 500) - 47 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 73.00 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 20 \times \log(4000 \times 500) - 47 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} = 79.02 \text{ dB}$$

Betonarme duvarın kritik frekansta, rezonans frekansı nda ve oktav band frekansları ndaki ses geçiş kayıpları, aşağıda Tablo 7.17’de gösterilmiştir.

Tablo 7. 17: Betonarme Duvarın Kıransal Ses Geçiş Kayıp Değerleri

|                       | fc    |       |       | f <sub>nm</sub> |       | 2f <sub>nm</sub> |       |       |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|------------------|-------|-------|-------|
|                       | 96.68 | 125   | 250   | 268.97          | 500   | 537.94           | 1000  | 2000  | 4000  |
| R <sub>duv</sub> , dB | 24.50 | 35.21 | 42.00 | 42.50           | 49.53 | 53.50            | 66.98 | 73.00 | 79.02 |

Betonarme duvarın ve betonarme kolonun sağladığı toplam ses geçiş kaybı, “Desibel değerlerini toplaması” kuralına uygun olarak yapılmıştır. Yapı elemanının oktav band frekanslarındaki toplam ses geçiş kaybı değerleri aşağıda gösterilmiştir.

|          |                              |
|----------|------------------------------|
| 125 Hz,  | $R_{duv} = 46.75 \text{ dB}$ |
| 250 Hz,  | $R_{duv} = 54.28 \text{ dB}$ |
| 500 Hz,  | $R_{duv} = 61.81 \text{ dB}$ |
| 1000 Hz, | $R_{duv} = 71.34 \text{ dB}$ |
| 2000 Hz, | $R_{duv} = 77.86 \text{ dB}$ |
| 4000 Hz, | $R_{duv} = 88.85 \text{ dB}$ |

Yapı kabuğundaki pencere tipi, 3 mm cam + 6 mm boşluk + 3 mm cam şeklinde çift camdır. Bu tip çift cam sisteminin frekanslara olarak sağladığı ses geçiş kaybı değerleri aşağıda gösterilmiştir.

|          |                           |
|----------|---------------------------|
| 125 Hz,  | $R_{pen} = 24 \text{ dB}$ |
| 250 Hz,  | $R_{pen} = 24 \text{ dB}$ |
| 500 Hz,  | $R_{pen} = 24 \text{ dB}$ |
| 1000 Hz, | $R_{pen} = 24 \text{ dB}$ |
| 2000 Hz, | $R_{pen} = 39 \text{ dB}$ |
| 4000 Hz, | $R_{pen} = 32 \text{ dB}$ |

Bölüm 6’da anlatılan kuramsal yöntemle göre  $S_{pen} / S_{duv}$  oranı bulunmuş ve oktav band frekans değerleri için  $R_{duv} - R_{pen}$  farkları alınmıştır.

$$S_{pen} / S_{duv} = 23.68 / 6.15 = 3.85$$

|          |                                                     |
|----------|-----------------------------------------------------|
| 125 Hz,  | $R_{duv} - R_{pen} = 46.75 - 24 = 22.75 \text{ dB}$ |
| 250 Hz,  | $R_{duv} - R_{pen} = 54.28 - 24 = 30.28 \text{ dB}$ |
| 500 Hz,  | $R_{duv} - R_{pen} = 61.81 - 24 = 37.81 \text{ dB}$ |
| 1000 Hz, | $R_{duv} - R_{pen} = 71.34 - 24 = 47.34 \text{ dB}$ |
| 2000 Hz, | $R_{duv} - R_{pen} = 77.86 - 39 = 38.86 \text{ dB}$ |
| 4000 Hz, | $R_{duv} - R_{pen} = 88.85 - 32 = 56.85 \text{ dB}$ |

Şekil 6.7’deki grafik kullanılarak, oktav band frekans değerleri için, ses yalıtımı kaybı değeri olan  $x$  bulunmuştur.

$$R_T = R_{\text{duv}} - x$$

|          |             |                                                               |
|----------|-------------|---------------------------------------------------------------|
| 125 Hz,  | $x = 21.50$ | $R_T = R_{\text{duv}} - x = 46.75 - 21.50 = 25.25 \text{ dB}$ |
| 250 Hz,  | $x = 29.00$ | $R_T = R_{\text{duv}} - x = 54.28 - 29.00 = 25.28 \text{ dB}$ |
| 500 Hz,  | $x = 36.50$ | $R_T = R_{\text{duv}} - x = 61.81 - 36.50 = 25.31 \text{ dB}$ |
| 1000 Hz, | $x = 46.00$ | $R_T = R_{\text{duv}} - x = 71.34 - 46.00 = 25.34 \text{ dB}$ |
| 2000 Hz, | $x = 37.50$ | $R_T = R_{\text{duv}} - x = 77.86 - 37.50 = 40.36 \text{ dB}$ |
| 4000 Hz, | $x = 55.00$ | $R_T = R_{\text{duv}} - x = 88.35 - 55.00 = 33.35 \text{ dB}$ |

#### 7.4.4 BİNA İÇİ NCB KRİTERİNİN SEÇİLMESİ

İç gürültü düzeyi ölçülen mekan özel ofistir. Özel ofisler için olması gereken NCB değeri 35’tir. NCB 35’in oktav band merkez frekanslarına göre dağılım aşağıda gösterilmiştir.

|          |                                     |
|----------|-------------------------------------|
| 125 Hz,  | $L_{\text{kriter}} = 50 \text{ dB}$ |
| 250 Hz,  | $L_{\text{kriter}} = 44 \text{ dB}$ |
| 500 Hz,  | $L_{\text{kriter}} = 40 \text{ dB}$ |
| 1000 Hz, | $L_{\text{kriter}} = 37 \text{ dB}$ |
| 2000 Hz, | $L_{\text{kriter}} = 33 \text{ dB}$ |
| 4000 Hz, | $L_{\text{kriter}} = 30 \text{ dB}$ |

İç mekanda olması gereken ses düzeylerine ( $L_{kriter}$ ) bağlı olarak yapı kabuğunun sağlanması gereken ses geçiş kaybı ( $R_{st}$ ), frekanslara bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$R_{st} = L_{du} - L_{kri} + 10 \log \frac{S}{A} \text{ dB}$$

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 77.80 - 50.00 + 10 \log \frac{29.83}{15.278}$$

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 30.71 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 65.10 - 44.00 + 10 \log \frac{29.83}{9.925}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 25.88 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 64.90 - 40.00 + 10 \log \frac{29.83}{11.278}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 29.12 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 67.70 - 37.00 + 10 \log \frac{29.83}{13.772}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 34.06 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 66.20 - 33.00 + 10 \log \frac{29.83}{10.943}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 37.55 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 60.90 - 30.00 + 10 \log \frac{29.83}{16.304}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 33.52 \text{ dB}$$

#### 7.4.5 DENEYSEL VE KURAMSAL YÖNTEM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Yapı kabuğunun, kuramsal olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerleri ile deneysel olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerlerinin, oktav band frekansları için karşılaştırılması aşağıda Tablo 7.18’de gösterilmiştir.

Tablo 7.18: Kuramsal – Deneysel Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması

|                  | 125   | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $L_{dış}$ , dB   | 77.80 | 65.10 | 64.90 | 67.70 | 66.20 | 60.90 |
| $L_{iç}$ , dB    | 48.70 | 37.70 | 41.10 | 50.90 | 49.40 | 48.30 |
| 10 log S/A       | 2.91  | 4.78  | 4.22  | 3.36  | 4.35  | 2.62  |
| $R_{T,Den}$ , dB | 32.01 | 32.18 | 28.02 | 20.16 | 21.15 | 15.22 |

|                                             | 125   | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
|---------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $R_{duv}$ , dB                              | 46.75 | 54.28 | 61.81 | 71.34 | 77.86 | 88.85 |
| $R_{pen}$ , dB                              | 24.00 | 24.00 | 24.00 | 24.00 | 39.00 | 32.00 |
| $R_{duv}-R_{pen}$ , dB                      | 22.75 | 30.28 | 37.81 | 47.34 | 38.86 | 56.85 |
| x                                           | 21.50 | 29.00 | 36.50 | 46.00 | 37.50 | 55.00 |
| $R_{T,Teo}$ , dB                            | 25.25 | 25.28 | 25.31 | 25.34 | 40.36 | 33.85 |
| $R_{T,Den}$ , dB                            | 32.01 | 32.18 | 28.02 | 20.16 | 21.15 | 15.22 |
| Karşılaştırma<br>$R_{T,Teo}-R_{T,Den}$ , dB | -6.76 | -6.90 | -2.71 | 5.18  | 19.21 | 18.63 |

Deneysel ve kuramsal sonuçlar karşılaştırıldığında, kuramsal olarak bulunmuş ses geçiş kaybı değerlerinin, deneysel ses geçiş kaybı değerlerinden, özellikle yüksek frekanslarda (2000, 4000 Hz) daha yüksek olduğu görülmektedir. Deneysel ses geçiş kaybı değerleri, yapı kabuğunun gerçek ortadaki ses yalıtı mperfor mansı nı göstermektedir. Bu sebeple elde edilen sonuçlar daha gerçekçidir. Kuramsal yöntemde kullanılan değerler ise literatürden alınmış ideal koşullardaki değerlerdir. Özellikle yüksek frekanslarda oluşan büyük fark, ideal bir kanun olan Kütle Kanunu’ndan kaynaklanmaktadır. Kütle

Kanunu'na göre, her oktav bandda, ses geçiş kaybı 6 dB artmaktadır. Gerçek ortam koşullarında ise ideal ortam koşulları yoktur.

125 ve 250 Hz frekanslarında, deneysel ses geçiş kaybı değerleri, kuramsal ses geçiş kaybı değerlerinden yüksektir. 125 Hz için neden olarak, kritik frekansa göre konumu gösterilebilir. 125 Hz frekansı, kritik frekansa (96.68 Hz) yakın bir değerdedir. Bu durumda 125 Hz'deki kuramsal ses geçiş kaybı değerini düşürmektedir. Ancak iki frekansta da deneysel değerler ile kuramsal değerler arasındaki fark çok büyük değildir.

Sonuç olarak, yapı kabuğunun ses yalıtım performansı, kuramsal değerlerle karşılaştırıldığında, 125, 250, 500 ve 1000 Hz'de yeterlidir. Ancak 2000 ve 4000 Hz'de, kütle kanununa bağlı fark olmaktadır. Yapı kabuğundaki elemanların özellikleri, literatür değerlerinden farklıdır. Bu sebeple, yapı kabuğunun ses yalıtım performansı'nın değerlendirilmesinde, deneysel ses geçiş kaybı değerlerinin kullanılması gerçekçi ve doğru bir yaklaşımla olacaktır.

#### 7.4.6 DENEYSEL YÖNTEM SONUÇLARIYLA NCB KRİTERİNE BAğLI SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Deneysel olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerlerinin, NCB kriterine bağlı olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerleriyle karşılaştırılması aşağıda Tablo 7.5'te gösterilmiştir.

Tablo 7. 19: Deneysel – NCB Kriterine Bağlı Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması

|                            | 125   | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $L_{dış}$ , dB             | 77.80 | 65.10 | 64.90 | 67.70 | 66.20 | 60.90 |
| $L_{kri}$ , dB             | 50.00 | 44.00 | 40.00 | 37.00 | 33.00 | 30.00 |
| NCB 35                     |       |       |       |       |       |       |
| $10 \log S/A$              | 2.91  | 4.78  | 4.22  | 3.36  | 4.35  | 2.62  |
| $R_{ist}$ , dB             | 30.71 | 25.88 | 29.12 | 34.06 | 37.55 | 33.52 |
| $R_{T,Den}$ , dB           | 32.01 | 32.18 | 28.02 | 20.16 | 21.15 | 15.22 |
| $R_{ist} - R_{T,Den}$ , dB | -1.30 | -6.30 | 1.10  | 13.90 | 16.40 | 18.30 |

Deneysel yöntem sonuçlarıyla, NCB kriterine bağlı sonuçlar karşılaştırıldığında, yüksek frekanslarda (1000, 2000, 4000 Hz) ses geçiş kaybı değerleri arasındaki fark artmaktadır. 125, 250 ve 500 Hz frekanslarda, yapı kabuğu istenen ses geçiş kaybı değerini sağlamaktadır. Ancak 1000, 2000 ve 4000 Hz frekanslarda, istenen iç mekân gürültü düzeyi sağlanmamaktadır. Bunun sebebi, yapı kabuğunun yüksek frekanslardaki ses geçiş kaybı değerlerinin, NCB kriterine bağlı olarak hesaplanan değerlerden düşük olmasıdır. Mevcut durumdaki dış gürültü düzeyine bağlı olarak yapı kabuğunun yüksek frekanslarda sağladığı ses geçiş kaybı değerleri yetersizdir. İç mekânın kullanım amacına bağlı olarak sağlanması gereken konfor düzeyi, alçak frekanslarda fazlayken, yüksek frekanslarda yetersizdir. Ofislerde, gürültüden kaynaklanan konuşmanın engellenmesi, iş performansının azalması gibi Bölüm 3'te kapsamı anlatılmış sorunlar görülebilir.

#### **7.4 İSTANBUL METRO KUMANDA MERKEZİ BİNASI'NIN (TAKSİM) KURAMSAL VE DENEYSEL AÇI DAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

##### **7.4.1. GİRİŞ**

İstanbul Metro Kumanda Merkezi olarak kullanılan yapı, Cumhuriyet Caddesi üzerinde yer almaktadır. Yapının projeleri Ek D'de verilmiştir.

Yapı, betonarme bir yapıdır. Öçümü yapılan yapı kabuğu, 20 cm kalınlığında betonarme kiriş, kolon üzeri granit kaplama ve çift camdan oluşmaktadır. Gürültü ölçümü, saat 9.30 civarında, zemin katta yapılmıştır.

##### **7.4.2. DENEYSEL YÖNTEMLE YAPI KABUĞUNUN SES GEÇİŞ KAYBI'NIN HESAPLANMASI**

Bölüm 6'da anlatılan deney düzeneğine uygun olarak, yapı kabuğunun, ses basınç düzeyi ölçerleri kullanılarak ölçülen iç ve dış gürültü seviyeleri, kablolarla çift kanallı teybe kaydedilmiştir. Daha sonra deney ölçümleri, Gürültü Düzeyi Analizörü'nde ve Kanal Analizörü programında analiz edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen değerler aşağıda Tablo 7.20'de verilmiştir.

Tablo 7. 20: İstanbul Metro Kumanda Merkezi – Gürültü Analiz Sonuçları

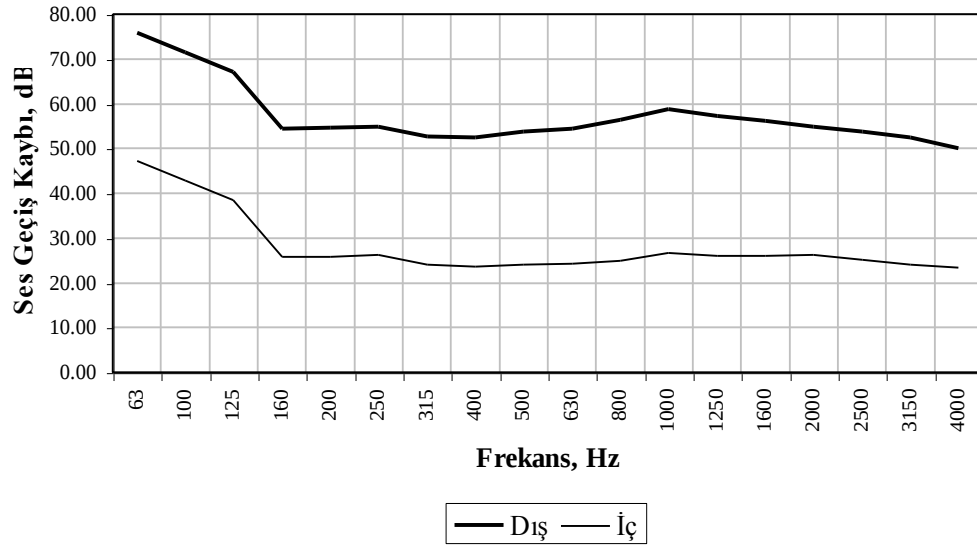
| (dBA)           | Short L <sub>eq</sub> | Med. L <sub>eq</sub> | Long L <sub>eq</sub> | 1 sec. L <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub> | SEL    | Sound L. |
|-----------------|-----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------|--------|----------|
| <b>Dış</b>      | 70.00                 | 78.20                | 78.00                | 69.50                  | 84.80            | 100.70 | 70.10    |
| <b>İç</b>       | 44.60                 | 47.30                | 47.20                | 44.80                  | 56.20            | 73.30  | 44.80    |
| <b>Dış - İç</b> | 25.40                 | 30.90                | 30.80                | 24.70                  | 28.60            | 27.40  | 25.30    |

Kanal Analizörü programında, iç ve dış gürültü düzeylerinin oktav band ve 1 / 3 oktav band frekans dağılımı bulunmuştur. Aşağıda Tablo 7.21’de gürültü düzeylerinin dB olarak frekans dağılımı gösterilmiştir.

Tablo 7. 21: İstanbul Metro Kumanda Merkezi – Frekans Analizi

|                 | Frekans (Hz) |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                 | 63           | 100   | 125   | 160   | 200   | 250   | 315   | 400   | 500   |
| <b>Dış (dB)</b> | 75.80        | 71.50 | 67.20 | 54.40 | 54.60 | 54.90 | 52.60 | 52.40 | 53.70 |
| <b>İç (dB)</b>  | 47.20        | 42.80 | 38.50 | 25.70 | 25.90 | 26.20 | 24.00 | 23.70 | 24.10 |
|                 | 630          | 800   | 1000  | 1250  | 1600  | 2000  | 2500  | 3150  | 4000  |
| <b>Dış (dB)</b> | 54.50        | 56.30 | 58.90 | 57.20 | 56.10 | 54.90 | 53.80 | 52.40 | 50.00 |
| <b>İç (dB)</b>  | 24.30        | 24.90 | 26.70 | 26.10 | 26.00 | 26.30 | 25.10 | 24.00 | 23.30 |

Tablo 7.21’de verilmiş olan ses basınç düzeyi – frekans ilişkisi, aşağıda Şekil 7.4’te, iç ve dış ortam için grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7. 4: İç ve Dış Ses Basıncı Düzeyi – Frekans İlişkisi

DeneySEL yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybı, oktav band merkez frekansları için TS – ISO 140 / 5'te belirtilen yöntemle hesaplanmıştır. Eşdeğer emicilik alanının (A) hesaplanması, Tablo 7.22'de gösterilmiştir.

$$R_T = L_{du} - L_{iç} + 10 \log \frac{S}{A} \text{ dB}$$

$$125 \text{ Hz, } R_T = 67.20 - 38.50 + 10 \log \frac{6.04}{2.192}$$

$$125 \text{ Hz, } R_T = 33.10 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz, } R_T = 54.90 - 26.20 + 10 \log \frac{6.04}{1.529}$$

$$250 \text{ Hz, } R_T = 34.67 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz, } R_T = 53.70 - 24.10 + 10 \log \frac{6.04}{1.76}$$

$$500 \text{ Hz, } R_T = 34.95 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_T = 58.90 - 26.70 + 10 \log \frac{6.04}{1.876}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_T = 37.28 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_T = 54.90 - 26.30 + 10 \log \frac{6.04}{2.059}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_T = 33.27 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_T = 50.00 - 23.30 + 10 \log \frac{6.04}{2.404}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_T = 30.70 \text{ dB}$$

Tablo 7. 22: İstanbul Metro Kumanda Merkezi – Eşdeğer Emicilik Alanının (A) Hesaplanması

| ELEMEN ADI                                      | TOPLAM<br>S (m <sup>2</sup> ) | ALAN<br>(m <sup>2</sup> ) | MALZEME     | FREKANS (Hz) |             |          |             |          |             |          |             |          |             |          |             |
|-------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------|--------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|
|                                                 |                               |                           |             | 125          |             | 250      |             | 500      |             | 1000     |             | 2000     |             | 4000     |             |
|                                                 |                               |                           |             | $\alpha$     | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ |
| A DUVARI                                        | 7.70                          | 7.70                      | Tuğla Duvar | 0.01         | 0.077       | 0.01     | 0.077       | 0.02     | 0.154       | 0.02     | 0.154       | 0.02     | 0.154       | 0.02     | 0.154       |
| B DUVARI                                        | 7.81                          | 7.81                      | Tuğla Duvar | 0.01         | 0.078       | 0.01     | 0.078       | 0.02     | 0.156       | 0.02     | 0.156       | 0.02     | 0.156       | 0.02     | 0.156       |
| ÖN DUVAR                                        | 6.04                          | 1.3335                    | Betonarme   | 0.01         | 0.013       | 0.01     | 0.013       | 0.01     | 0.013       | 0.02     | 0.027       | 0.02     | 0.027       | 0.02     | 0.027       |
|                                                 |                               | 4.708                     | Çift Cam    | 0.10         | 0.471       | 0.07     | 0.329       | 0.05     | 0.235       | 0.03     | 0.141       | 0.02     | 0.094       | 0.02     | 0.094       |
| ARKA DUVAR                                      | 7.43                          | 7.43                      | 3 mm Cam    | 0.08         | 0.594       | 0.04     | 0.297       | 0.03     | 0.223       | 0.03     | 0.223       | 0.02     | 0.149       | 0.02     | 0.149       |
| DÖŞEME                                          | 9.31                          | 9.31                      | Granit      | 0.01         | 0.093       | 0.01     | 0.093       | 0.01     | 0.093       | 0.01     | 0.093       | 0.02     | 0.186       | 0.02     | 0.186       |
| TAVAN                                           | 9.31                          | 9.31                      | Betonarme   | 0.010        | 0.093       | 0.010    | 0.093       | 0.01     | 0.093       | 0.02     | 0.186       | 0.02     | 0.186       | 0.02     | 0.186       |
| CAM PANEL                                       | 7.58                          | 7.58                      | Cam         | 0.08         | 0.607       | 0.04     | 0.303       | 0.03     | 0.227       | 0.03     | 0.227       | 0.02     | 0.152       | 0.02     | 0.152       |
| TEZGAH                                          | 0.63                          | 0.63                      | Mermer      | 0.01         | 0.006       | 0.01     | 0.006       | 0.01     | 0.006       | 0.01     | 0.006       | 0.02     | 0.013       | 0.02     | 0.013       |
| İNSAN                                           | 1.00                          | 1.00                      |             | 0.16         | 0.160       | 0.24     | 0.240       | 0.56     | 0.560       | 0.69     | 0.690       | 0.81     | 0.810       | 0.78     | 0.780       |
| HACİM (m <sup>3</sup> )                         | 22.06                         | 22.06                     |             | 0.00         | 0.000       | 0.00     | 0.000       | 0.00     | 0.000       | 0.003    | 0.066       | 0.006    | 0.132       | 0.023    | 0.507       |
| EŞDEĞER EMİCİLİK ALANI, A, sabin.m <sup>2</sup> |                               |                           |             | 2.192        |             | 1.529    |             | 1.760    |             | 1.876    |             | 2.059    |             | 2.404    |             |



### 7.5.3 KURAMSAL YÖNTEMLE YAPI KABUĞUNUN SES GEÇİŞ KAYBİNIN HESAPLANMASI

Yapı kabuğu, betonarme kiriş, kolon üzeri granit kaplama ve alüminyum çift cam pencere ve kapıdan oluşmaktadır. Öncelikle, betonarme duvarın ve granitin kritik frekansı ve rezonans frekansı hesaplanmıştır. Kaplamalı yapı elemanının kritik frekansını hesaplamak için uygulanan yöntem Bölüm 6’da anlatılan yöntemdir. Bu yöntemde öncelikle yapı kabuğunun toplam alan ağırlığı ( $\rho_s$ ) ve eğilme sertliği ( $B$ ) bulunmaktadır. Sonra bu değerler kullanılarak kritik frekans hesaplanmıştır.

$$\rho_s = \rho_1 d_1 + \rho_2 d_2 \quad \Lambda \quad \Lambda \quad kg/m^2$$

$$\rho_s = \text{Kaplamalı yapı elemanının toplam alan ağırlığı, } kg/m^2$$

$$\rho_1 = \text{Birinci tabakanın yoğunluğu, } kg/m^3$$

$$\rho_2 = \text{İkinci tabakanın yoğunluğu, } kg/m^3$$

$$d_1 = \text{Birinci tabakanın kalınlığı, } m$$

$$\rho_s = 2650 \times 0.001 + 2500 \times 0.20$$

$$\rho_s = 526.5 \quad kg/m^2$$

$$B \approx \frac{E_1 d}{12} \left[ d_1^2 + \left( y - \frac{d_1}{2} \right)^2 \right] + \frac{E_2 d_2}{12} \left[ d_2^2 + \left( y - \frac{2d_1 + d_2}{2} \right)^2 \right] \quad \Lambda \quad \Lambda \quad Nm \quad (6.21)$$

$$E_1 = \text{Birinci tabakanın elastikiyet modülü, } N/m^2$$

$$E_2 = \text{İkinci tabakanın elastikiyet modülü, } N/m^2$$

$$d_1 = \text{Birinci tabakanın kalınlığı, } m$$

$$d_2 = \text{İkinci tabakanın kalınlığı, } m$$

$$y = \text{Yapı bileşeninin nötral ekseninin, tabakanın uzak olan yüzüne uzaklığı, } m$$

$$y = \left[ \frac{E_1 d_1 + E_2 (2d_1 + d_2)}{2(E_1 + E_2)} \right] \Lambda \Lambda \Lambda m$$

$$y = \left[ \frac{53 \cdot 10^9 \cdot 0.01 + 23 \cdot 10^9 (2 \cdot 0.01 + 0.2)}{2(53 \cdot 10^9 + 23 \cdot 10^9)} \right]$$

$$y = 0.037 \text{ m}$$

$$B \approx \frac{53 \cdot 10^9 \cdot 0.01}{12} \left[ 0.01^2 + \left( 0.037 - \frac{0.01}{2} \right)^2 \right] + \frac{23 \cdot 10^9 \cdot 0.2}{12} \left[ 0.2^2 + \left( 0.037 - \frac{2 \cdot 0.01 + 0.2}{2} \right)^2 \right]$$

$$B = 17.43 \times 10^6 \text{ Nm}$$

Yukarıdaki formlerden elde edilen eğilme sertliği (B) ve alan ağırlığına ( $\rho_s$ ) bağlı olarak, kaplamalı yapı elemanının kritik elemanının kritik frekansı aşağıdaki formülle bulunmuştur.

$$f_c = (c^2 / 2\pi) \cdot (\sqrt{\rho_s / B}) \Lambda \Lambda \Lambda \text{ Hz}$$

c = Havadaki ses hızı, m/ s

$\rho_s$  = Kaplamalı yapı elemanının toplam alan ağırlığı, kg / m<sup>2</sup>

B = Eğilme sertliği, Nm

$$f_c = (344^2 / 2\pi) \cdot (\sqrt{526.5 / 17.43 \cdot 10^6})$$

$$f_c = 103.58 \text{ Hz}$$

Betonarme duvarın rezonans frekansı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$f_{nm} = 0.45 \times c_L \times d \times \left[ \left( \frac{1}{l_x} \right)^2 + \left( \frac{1}{l_y} \right)^2 \right]$$

$$f_{nm} = 0.45 \times 3400 \times 0.2 \times \left[ \left( \frac{1}{2.55} \right)^2 + \left( \frac{1}{2.37} \right)^2 \right]$$

$$f_{nm} = 101.53 \text{ Hz}$$

$$2f_{nm} = 203.06 \text{ Hz}$$

Granit kaplamanın rezonans frekansı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$f_{nm} = 0.45 \times c_L \times d \times \left[ \left( \frac{1}{l_x} \right)^2 + \left( \frac{1}{l_y} \right)^2 \right]$$

$$f_{nm} = 0.45 \times 3800 \times 0.01 \times \left[ \left( \frac{1}{2.55} \right)^2 + \left( \frac{1}{2.37} \right)^2 \right]$$

$$f_{nm} = 5.67 \text{ Hz}$$

$$2f_{nm} = 11.34 \text{ Hz}$$

Betonarme duvarda  $f_{nm}$  ile  $2f_{nm}$  (101.53 – 203.06 Hz) arasında rezonans oluşmaktadır. Granit kaplamanın rezonans frekansı ise oldukça düşüktür. Bölüm 6.6'daki grafiğin x ekseninin ( $f / f_c$ ) en düşük değeri 0.0625'tir. Granitin rezonans frekansının kritik frekansa oranı ise 0.055'tir. Bu sebeple ses geçiş kaybı değeri çok düşüktür ve hesaplanamıştır. Kritik frekans (101.53 Hz) ise betonarme duvarın rezonans frekansı ile iki katı kadar olan frekans ( $f_{nm} - 2f_{nm}$ ) arasındadır. Bu durum Şekil 6.4'te gösterilmiştir. Kritik frekansta ve betonarme duvarın rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybı değerleri, Bölüm 6'da anlatılmış olan grafiksel yöntemle, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'ya bağlı olarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$\rho_s = 526.50 \text{ kg / m}^3$$

$$\rho_s = \text{Kaplama yapı elemanının alan ağırlığı, kg / m}^3$$

$$\rho_s \times f_c = 526.5 \times 103.58 = 54534.87 \text{ Hz. kg / m}^3$$

Bu değer kullanılarak, Şekil 6.5'ten  $R_0(f_c)$  değeri 53 dB olarak bulunmuştur. Şekil 6.6'da, kayıp faktörü  $\eta = 0.02$  olacak şekilde  $[R_f(f_c) - R_0(f_c)]$  değeri -27dB olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, kritik frekansta oluşan ses geçiş kaybı değeri 6.18 bağıntısı kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$R_f(f_c) = [R_f(f_c) - R_0(f_c)] + R_0(f_c)$$

$$R_f(f_c) = -27 + 53$$

$$R_f(f_c) = 26 \text{ dB}$$

Betonarme duvarın rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybını hesaplamak için öncelikle, Şekil 6.6'da kullanmak üzere  $f_{nm}/f_c$  oranı bulunmuştur.

$$f_{nm}/f_c = 101.53 / 103.58$$

$$f_{nm}/f_c = 0.98$$

Bu orana bağlı olarak,  $[R_f(f_{nm}) - R_0(f_c)]$  değeri -27 dB olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybı değeri 6.18 bağıntısı kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$R_f(f_{nm}) = [R_f(f_{nm}) - R_0(f_c)] + R_0(f_c)$$

$$R_f(f_{nm}) = -27 + 53$$

$$R_f(f_{nm}) = 26 \text{ dB}$$

Kritik frekans, rezonans frekansı ile rezonans frekansının iki katı arasında kaldığında, rezonans frekansının altında kalan frekanslarda ses geçiş kaybı, malzemenin sertliğine bağlıdır. Kritik frekans ile rezonans frekansı arasında ise kütle kanunu geçerlidir. Rezonans frekansının iki katındaki frekansın üzerinde ise ses geçiş kaybı, kayıp faktörüne bağlıdır. Bu durum Şekil 6.4'te gösterilmiştir.

$$R_{\text{duv}} = 20 \times \log(f \times \rho \times d) + 10 \times \left( \sqrt{f/f_c} \right) - 62 \text{ dB} \wedge \text{ dB}$$

$$R_{\text{duv}} = 20 \times \log(f \times (\rho_1 \cdot d_1 + \rho_2 \cdot d_2)) + 10 \times \left( \sqrt{f/f_c} \right) - 62 \text{ dB} \wedge \text{ dB}$$

$$\rho_s = \rho_1 d_1 + \rho_2 d_2 \wedge \wedge \text{ kg/m}^2$$

$$R_{\text{duv}} = 20 \times \log(f \times \rho_s) + 10 \times \left( \sqrt{f/f_c} \right) - 62 \text{ dB} \wedge \text{ dB}$$

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} = 20 \times \log(125 \times 526.5) + 10 \times \log\left(\sqrt{125/103.58}\right) - 62 \text{ dB}$$

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} = 34.78 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} = 20 \times \log(250 \times 526.5) + 10 \times \log\left(\sqrt{250/103.58}\right) - 62 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} = 42.30 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} = 20 \times \log(500 \times 526.5) + 10 \times \log\left(\sqrt{500/103.58}\right) - 62 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} = 49.83 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} = 20 \times \log(1000 \times 526.5) + 10 \times \log\left(\sqrt{1000/103.58}\right) - 62 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} = 57.35 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} = 20 \times \log(2000 \times 526.5) + 10 \times \log\left(\sqrt{2000/103.58}\right) - 62 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} = 64.88 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} = 20 \times \log(4000 \times 526.5) + 10 \times \log\left(\sqrt{4000/103.58}\right) - 62 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} = 72.40 \text{ dB}$$

Yapı elemanının kritik frekansta, rezonans frekansında ve oktav band frekanslarındaki ses geçiş kayıpları, aşağıda Tablo 7.23'te gösterilmiştir.

Tablo 7. 23: Yapı Elemanının Kuramsal Ses Geçiş Kayıp Değerleri

|                       | f <sub>nm</sub> | f <sub>c</sub> |       | 2f <sub>nm</sub> |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-----------------|----------------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | 101.53          | 103.58         | 125   | 203.06           | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
| R <sub>duv</sub> , dB | 26.00           | 26.00          | 34.78 | 40.00            | 42.30 | 49.83 | 57.35 | 64.88 | 72.40 |

Yapı kabuğundaki kapı tipi, 3 mm cam + 6 mm boşluk + 3 mm cam şeklinde çift camdır. Bu tip çift cam sisteminin, frekanslara olarak sağladığı ses geçiş kaybı değerleri aşağıda gösterilmiştir.

125 Hz, R<sub>pen</sub> = 24 dB

250 Hz, R<sub>pen</sub> = 24 dB

500 Hz, R<sub>pen</sub> = 24 dB

1000 Hz, R<sub>pen</sub> = 24 dB

2000 Hz, R<sub>pen</sub> = 39 dB

4000 Hz, R<sub>pen</sub> = 32 dB

Bölüm 6'da anlatılan kuramsal yöntemle göre S<sub>pen</sub> / S<sub>duv</sub> oranı bulunmuş ve oktav band frekans değerleri için R<sub>duv</sub> – R<sub>pen</sub> farkları alınmıştır.

$$S_{pen} / S_{duv} = 4.71 / 1.33 = 3.54 \cong 3.5$$

125 Hz, R<sub>duv</sub> – R<sub>pen</sub> = 34.78 – 24 = 10.78 dB

250 Hz, R<sub>duv</sub> – R<sub>pen</sub> = 42.30 – 24 = 18.30 dB

500 Hz, R<sub>duv</sub> – R<sub>pen</sub> = 49.83 – 24 = 25.83 dB

1000 Hz, R<sub>duv</sub> – R<sub>pen</sub> = 57.35 – 24 = 33.35 dB

2000 Hz, R<sub>duv</sub> – R<sub>pen</sub> = 64.88 – 39 = 25.88 dB

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} - R_{\text{pen}} = 72.40 - 32 = 40.40 \text{ dB}$$

Şekil 6.7'deki grafik kullanılarak, oktav band frekans değerleri için, ses yalıtım kaybı değeri olan  $x$  bulunmuştur.

$$R_T = R_{\text{duv}} - x$$

$$125 \text{ Hz}, \quad x = 9.50 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 34.78 - 9.50 = 25.28 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad x = 16.50 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 42.30 - 16.50 = 25.80 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad x = 24.50 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 49.83 - 24.50 = 25.33 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad x = 32.00 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 57.35 - 32.00 = 25.35 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad x = 24.50 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 64.88 - 24.50 = 40.38 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad x = 39.00 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 72.40 - 39.00 = 33.40 \text{ dB}$$

#### 7.5.4 İÇ MİNAİÇİ NCB KRİTERİNİN SEÇİLMESİ

İç gürültü düzeyi ölçülen mekandaki ses ve resepsiyondur. Bu tip mekanlar için olması gereken NCB değeri 40'tır. NCB 40'ın oktav band merkez frekanslarına göre dağılım aşağıda gösterilmiştir.

$$125 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 54 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 49 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 45 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 42 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 38 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 35 \text{ dB}$$

İç mekanda olması gereken ses düzeylerine ( $L_{\text{kriter}}$ ) bağlı olarak, yapı kabuğunun sağlanması gereken ses geçiş kaybı ( $R_{\text{st}}$ ), frekanslara bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$R_{st} = L_{du} - L_{kri} + 10 \log \frac{S}{A} \text{ dB}$$

|          |                                                       |
|----------|-------------------------------------------------------|
| 125 Hz,  | $R_{st} = 67.20 - 54.00 + 10 \log \frac{6.04}{2.192}$ |
| 125 Hz,  | $R_{st} = 17.16 \text{ dB}$                           |
| 250 Hz,  | $R_{st} = 54.90 - 49.00 + 10 \log \frac{6.04}{1.529}$ |
| 250 Hz,  | $R_{st} = 11.87 \text{ dB}$                           |
| 500 Hz,  | $R_{st} = 53.70 - 45.00 + 10 \log \frac{6.04}{1.76}$  |
| 500 Hz,  | $R_{st} = 14.05 \text{ dB}$                           |
| 1000 Hz, | $R_{st} = 58.90 - 42.00 + 10 \log \frac{6.04}{1.876}$ |
| 1000 Hz, | $R_{st} = 21.98 \text{ dB}$                           |
| 2000 Hz, | $R_{st} = 54.90 - 38.00 + 10 \log \frac{6.04}{2.059}$ |
| 2000 Hz, | $R_{st} = 21.57 \text{ dB}$                           |
| 4000 Hz, | $R_{st} = 50.00 - 35.00 + 10 \log \frac{6.04}{2.404}$ |
| 4000 Hz, | $R_{st} = 19.00 \text{ dB}$                           |

### 7.5.5 DENEYSEL YÖNTEM SONUÇLARIYLA NCB KRİTERİNE BAĞLI SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Deneyssel olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerlerinin, NCB kriterine bağlı olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerleriyle karşılaştırılması aşağıda Tablo 7.24'te gösterilmiştir.

Tablo 7. 24: Kuramsal –Deneyssel Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması

|                  | 125   | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $L_{dış}$ , dB   | 67.20 | 54.90 | 53.70 | 58.90 | 54.90 | 50.00 |
| $L_{iç}$ , dB    | 38.50 | 26.20 | 24.10 | 26.70 | 26.30 | 23.30 |
| 10 log S/A       | 4.40  | 5.97  | 5.35  | 5.08  | 4.67  | 4.00  |
| $R_{T,Den}$ , dB | 33.10 | 34.67 | 34.95 | 37.28 | 33.27 | 30.70 |

|                                             | 125   | 250   | 500   | 1000   | 2000  | 4000  |
|---------------------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| $R_{duv}$ , dB                              | 34.78 | 42.30 | 49.83 | 57.35  | 64.88 | 72.40 |
| $R_{pen}$ , dB                              | 24.00 | 24.00 | 24.00 | 24.00  | 39.00 | 32.00 |
| $R_{duv}-R_{pen}$ , dB                      | 10.78 | 18.30 | 25.83 | 33.35  | 25.88 | 40.40 |
| x                                           | 9.50  | 16.50 | 24.50 | 32.00  | 24.50 | 39.00 |
| $R_{T,Teo}$ , dB                            | 25.28 | 25.80 | 25.33 | 25.35  | 40.38 | 33.40 |
| $R_{T,Den}$ , dB                            | 33.10 | 34.67 | 34.95 | 37.28  | 33.27 | 30.70 |
| Karşılaştırma<br>$R_{T,Teo}-R_{T,Den}$ , dB | -7.82 | -8.87 | -9.62 | -11.93 | 7.11  | 2.70  |

Deneyssel ve kuramsal sonuçlar karşılaştırıldığında, kuramsal olarak bulunmuş ses geçiş kaybı değerlerinin, deneyssel ses geçiş kaybı değerlerinden, 125, 250, 500 ve 1000 Hz frekanslarında daha alçak olduğu görülmektedir. Genellikle deneyssel ses geçiş kaybı değerlerinin, kuramsal ses geçiş kaybı değerlerinden düşük olması beklenir. Ancak, belirli frekanslarda, yapı kabuğunun gerçek ortamdaki ses yalıtı mperforansı, kuramsal değerlerden yüksek olabilir. Deneyssel ölçümyapıldığı anda, 125, 250, 500 ve 1000 Hz frekanslarında, iç gürültü düzeyi düşük seviyededir. Bu sebeple, bu frekanslardaki deneyssel ses geçiş kaybı değerleri yüksek çıkmıştır. İkinci neden olarak, kuramsal

olarak, 125 Hz frekansının, kritik frekansa göre konumu gösterilebilir. 125 Hz frekansı, kritik frekansa (103.58 Hz) yakın bir değerdedir. Bu durumda 125 Hz’deki kuramsal ses geçiş kaybı değerini düşürmektedir. Kayıp faktörüne bağlı olarak ses geçiş kaybı hesaplanırken,  $f / f_c$  oranının artmasıyla ses geçiş kaybı değeri artmaktadır. Bu oran azaldıkça, ses geçiş kaybı değeri düşer.

Yapı kabuğundaki elemanların özellikleri de literatür değerlerinden farklı olabilir. Kuramsal olarak ses geçiş kaybı değeri hesaplanırken, yapı elemanının yoğunluğu, literatürden alınır. Oysa, deneysel olarak ölçümü yapılan elemanın yoğunluğu literatür değerinden yüksek olabilir. Dolayısıyla, gerçekte olduğundan daha düşük bir yoğunluğa göre hesaplanmış ses geçiş kaybı değerleri, deneysel olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerlerinden daha düşük olacaktır. Bu durum da aradaki farka neden olarak gösterilebilir.

Özellikle yüksek frekanslarda, kuramsal ses geçiş kaybı değerleri ile deneysel ses geçiş kaybı değerleri arasındaki fark, kayıp faktörüne bağlı olarak yapılan hesaplardan kaynaklanmaktadır. Kayıp faktörüne bağlı olarak ses geçiş kaybı hesaplanırken, her oktav bandda, ses geçiş kaybı 7.5 dB artmaktadır. Gerçek ortam koşullarında ise ideal ortam koşulları yoktur. Yapı kabuğundaki elemanların özellikleri, literatür değerlerinden farklı olabilir. Bu sebeple, yapı kabuğunun ses yalıtım performansının değerlendirilmesinde, deneysel ses geçiş kaybı değerlerinin kullanılması gerçekçi ve doğru bir yaklaşımla olacaktır. Deneysel ses geçiş kaybı değerleri, yapı kabuğunun gerçek ortamdaki ses yalıtım performansını göstermektedir. Bu sebeple elde edilen sonuçlar daha gerçekçidir. Kuramsal yöntemde kullanılan değerler ise literatürden alınmış ideal koşullardaki değerlerdir.

### 7.5.6 DENEYSEL YÖNTEM SONUÇLARIYLA NCB KRİTERİNE BAĞLI SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Deneyssel olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerlerinin, NCB kriterine bağlı olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerleriyle karşılaştırılması aşağıda Tablo 7.25'te gösterilmiştir.

Tablo 7. 25: Deneyssel – NCB Kriterine Bağlı Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması

|                            | 125    | 250    | 500    | 1000   | 2000   | 4000   |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $L_{dış}$ , dB             | 67.20  | 54.90  | 53.70  | 58.90  | 54.90  | 50.00  |
| $L_{kri}$ , dB<br>NCB 40   | 54.00  | 49.00  | 45.00  | 42.00  | 38.00  | 35.00  |
| 10 log S/A                 | 4.40   | 5.97   | 5.35   | 5.08   | 4.67   | 4.00   |
| $R_{ist}$ , dB             | 17.60  | 11.87  | 14.05  | 21.98  | 21.57  | 19.00  |
| $R_{T,Den}$ , dB           | 33.10  | 34.67  | 34.95  | 37.28  | 33.27  | 30.70  |
| $R_{ist} - R_{T,Den}$ , dB | -15.50 | -22.80 | -20.90 | -15.30 | -11.70 | -11.70 |

Deneyssel yöntem sonuçlarıyla, NCB kriterine bağlı sonuçlar karşılaştırıldığında, bütün frekanslarda, deneyssel ses geçiş kaybı değerlerinin, kriter gere istenen ses geçiş kaybı değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ölçümü ve değerlendirmesi yapılan mekan, İstanbul Metro Kumanda Merkezi'nin danışması ve resepsiyonudur. Bu tip mekanlarda olması istenen NCB değeri ise 40'tır. Ancak, mekan, insan giriş çıkışının çok yüksek düzeyde olduğu bir yer değildir. Ayrıca deneyssel ölçüm sonucu bulunan iç gürültü düzeyleri, kriterde istenen değerlerden düşüktür. Arada oluşan fark, bu nedenlerden kaynaklanmaktadır. Mekan, kriter gere değerlendirildiğinde oldukça iyi bir performans göstermektedir. İç mekanın kullanıma amacıyla bağlı olarak sağlanması gereken konfor yeterlidir.

## 7.6 TAXİ MİLLİ OTELİ BİNASI NİN (TAKSİM) KURAMSAL VE DENEYSEL AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

### 7.6.1. GİRİŞ

Taksim Hill Oteli olarak kullanılan yapı, Sıraselviler Caddesi üzerinde yer almaktadır. Yapı, restorasyonu yapılmış eski bir yapıdır ve projeleri Ek E’de verilmiştir.

Yapının restorasyonunda Taksim Meydanı’na bakan ön cephesi bütünüyle korunmuş ve diğer kısımları taşıyıcı sistemi betonarme olacak şekilde yeniden inşa edilmiştir. Ölçümü yapılan yapı kabuğu, 1.katta bulunan bir yatak odasının ön cephesidir. 50 cm kalınlığında taş duvar ve ahşap çift camlı kapıdan oluşmaktadır. Ölçüm sabah 11:00 civarında yapılmıştır.

### 7.6.2 DENEYSEL YÖNTEMLE YAPI KABUĞUNUN SES GEÇİŞ KAYBİNIN HESAPLANMASI

Bölüm 6’da anlatılan deney düzeneğine uygun olarak, yapı kabuğunun, ses basınç düzeyi ölçerleri kullanılarak ölçülen iç ve dış gürültü seviyeleri, kablolarla çift kanallı teybe kaydedilmiştir. Daha sonra deney ölçümleri, Gürültü Düzeyi Analizörü’nde ve Kanal Analizörü programında analiz edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen değerler aşağıda Tablo 7.26’da verilmiştir.

Tablo 7. 26: Taksim Hill Oteli – Gürültü Analiz Sonuçları

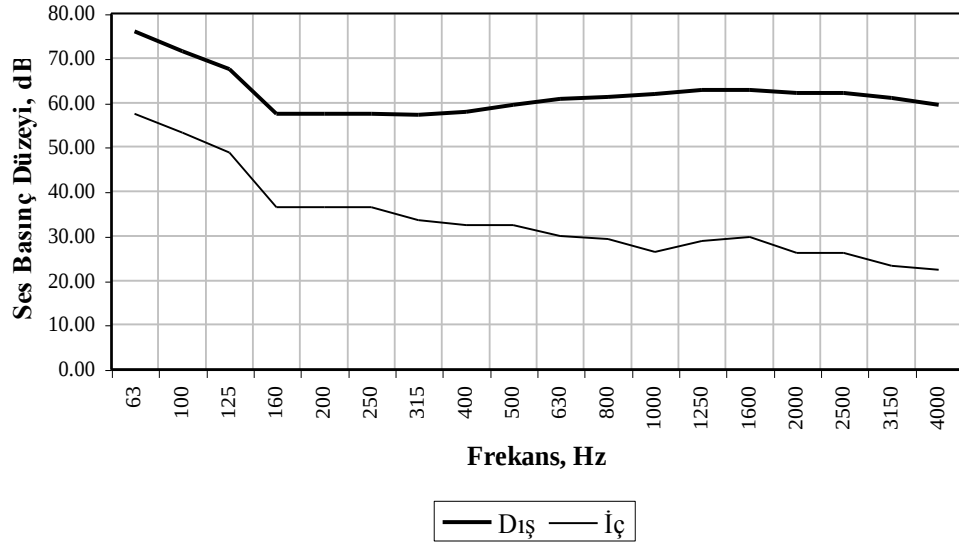
| (dBA)    | Short $L_{eq}$ | Med. $L_{eq}$ | Long $L_{eq}$ | 1 sec. $L_{eq}$ | $L_{max}$ | SEL    | Sound L. |
|----------|----------------|---------------|---------------|-----------------|-----------|--------|----------|
| Dış      | 79.90          | 80.30         | 80.40         | 76.70           | 92.90     | 109.50 | 76.80    |
| İç       | 64.00          | 65.20         | 64.90         | 32.50           | 66.40     | 66.40  | 32.80    |
| Dış - İç | 15.90          | 15.10         | 15.50         | 44.20           | 26.50     | 43.10  | 44.00    |

Kanal Analizörü programında, iç ve dış gürültü düzeylerinin oktav band ve 1 / 3 oktav band frekans dağılımı bulunmuştur. Aşağıda Tablo 7.27’de gürültü düzeylerinin dB olarak frekans dağılımı gösterilmiştir.

Tablo 7. 27: Taxi m Hll Q eli – Frekans Analizi

|                 | Frekans (Hz) |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                 | 63           | 100   | 125   | 160   | 200   | 250   | 315   | 400   | 500   |
| <b>Dış (dB)</b> | 75.90        | 71.60 | 67.40 | 57.40 | 57.40 | 57.50 | 57.30 | 57.90 | 59.50 |
| <b>İç (dB)</b>  | 57.40        | 53.10 | 48.80 | 36.40 | 36.40 | 36.40 | 33.50 | 32.50 | 32.50 |
|                 | 630          | 800   | 1000  | 1250  | 1600  | 2000  | 2500  | 3150  | 4000  |
| <b>Dış (dB)</b> | 60.70        | 61.20 | 62.00 | 62.70 | 62.90 | 62.20 | 62.20 | 60.90 | 59.50 |
| <b>İç (dB)</b>  | 29.90        | 29.20 | 26.40 | 28.90 | 29.70 | 26.20 | 26.20 | 23.20 | 22.30 |

Tablo 7. 27’de verilmiş olan ses basınç düzeyi – frekans ilişkisi, aşağıda Şekil 7.5’te, iç ve dış ortama için grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7. 5: İç ve Dış Ses Basınç Düzeyi – Frekans İlişkisi

DeneySEL yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybı, oktav band merkez frekansları için, TS – ISO 140 / 5’te belirtilen yöntemle hesaplanmıştır. Eşdeğer emicilik alanının (A) hesaplanması, Tablo 7.28’de gösterilmiştir.

$$R_T = L_{du} - L_{i\zeta} + 10 \log \frac{S}{A} \text{ dB}$$

|          |                                                    |
|----------|----------------------------------------------------|
| 125 Hz,  | $R_T = 67.40 - 48.80 + 10 \log \frac{12.77}{3.38}$ |
| 125 Hz,  | $R_T = 24.37 \text{ dB}$                           |
| 250 Hz,  | $R_T = 57.50 - 36.40 + 10 \log \frac{12.77}{3.08}$ |
| 250 Hz,  | $R_T = 27.28 \text{ dB}$                           |
| 500 Hz,  | $R_T = 59.50 - 32.50 + 10 \log \frac{12.77}{4.05}$ |
| 500 Hz,  | $R_T = 31.99 \text{ dB}$                           |
| 1000 Hz, | $R_T = 62.00 - 26.40 + 10 \log \frac{12.77}{5.92}$ |
| 1000 Hz, | $R_T = 38.94 \text{ dB}$                           |
| 2000 Hz, | $R_T = 62.20 - 26.20 + 10 \log \frac{12.77}{4.96}$ |
| 2000 Hz, | $R_T = 40.11 \text{ dB}$                           |
| 4000 Hz, | $R_T = 59.50 - 22.30 + 10 \log \frac{12.77}{6.98}$ |
| 4000 Hz, | $R_T = 39.82 \text{ dB}$                           |

Tablo 7. 28: Taxi m Hll Q eli – Eşdeğer Emicilik Alanının ( A) Hesaplanması

| ELEMEN ADI                                      | TOPLAM<br>S (m <sup>2</sup> ) | ALAN<br>(m <sup>2</sup> ) | MALZEME       | FREKANS (Hz) |             |          |             |          |             |          |             |          |             |          |             |
|-------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------|--------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|
|                                                 |                               |                           |               | 125          |             | 250      |             | 500      |             | 1000     |             | 2000     |             | 4000     |             |
|                                                 |                               |                           |               | $\alpha$     | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ |
| A DUVARI                                        | 31.50                         | 27.98                     | Betonarme     | 0.01         | 0.28        | 0.01     | 0.28        | 0.01     | 0.28        | 0.02     | 0.56        | 0.02     | 0.56        | 0.02     | 0.56        |
|                                                 |                               | 1.76                      | Ahşap Kapı    | 0.14         | 0.25        | 0.10     | 0.18        | 0.06     | 0.11        | 0.08     | 0.14        | 0.10     | 0.18        | 0.10     | 0.18        |
|                                                 |                               | 1.76                      | Ahşap Kapı    | 0.14         | 0.25        | 0.10     | 0.18        | 0.06     | 0.11        | 0.08     | 0.14        | 0.10     | 0.18        | 0.10     | 0.18        |
| B DUVARI                                        | 29.40                         | 27.42                     | Betonarme     | 0.01         | 0.27        | 0.01     | 0.27        | 0.01     | 0.27        | 0.02     | 0.55        | 0.02     | 0.55        | 0.02     | 0.55        |
|                                                 |                               | 1.98                      | Ahşap Kapı    | 0.14         | 0.28        | 0.10     | 0.20        | 0.06     | 0.12        | 0.08     | 0.16        | 0.10     | 0.20        | 0.10     | 0.20        |
| ÖN DUVAR                                        | 12.77                         | 6.39                      | Taş Duvar     | 0.01         | 0.06        | 0.01     | 0.06        | 0.02     | 0.13        | 0.02     | 0.13        | 0.02     | 0.13        | 0.02     | 0.13        |
|                                                 |                               | 6.38                      | Çift camlı k. | 0.10         | 0.64        | 0.07     | 0.45        | 0.05     | 0.32        | 0.03     | 0.19        | 0.02     | 0.13        | 0.02     | 0.13        |
| ARKA DUVAR                                      | 9.10                          | 9.10                      | Betonarme     | 0.01         | 0.09        | 0.01     | 0.09        | 0.01     | 0.09        | 0.02     | 0.18        | 0.02     | 0.18        | 0.02     | 0.18        |
| DÖŞEME                                          | 16.08                         | 16.08                     | Halı          | 0.04         | 0.64        | 0.04     | 0.64        | 0.08     | 1.29        | 0.12     | 1.93        | 0.03     | 0.48        | 0.10     | 1.61        |
| TAVAN                                           | 16.08                         | 16.08                     | Betonarme     | 0.01         | 0.16        | 0.01     | 0.16        | 0.01     | 0.16        | 0.02     | 0.32        | 0.02     | 0.32        | 0.02     | 0.32        |
| MOBİLYA                                         | 0.90                          | 0.90                      | Ahşap         | 0.14         | 0.13        | 0.10     | 0.09        | 0.06     | 0.05        | 0.08     | 0.07        | 0.10     | 0.09        | 0.10     | 0.09        |
| İNSAN                                           | 2.00                          | 2.00                      |               | 0.16         | 0.32        | 0.24     | 0.48        | 0.56     | 1.12        | 0.69     | 1.38        | 0.81     | 1.62        | 0.78     | 1.56        |
| HACİM (m <sup>3</sup> )                         | 56.28                         | 56.28                     |               | 0.00         | 0.00        | 0.00     | 0.00        | 0.00     | 0.00        | 0.003    | 0.17        | 0.006    | 0.34        | 0.023    | 1.29        |
| EŞDEĞER EMİCİLİK ALANI, A, sabin.m <sup>2</sup> |                               |                           |               | 3.38         |             | 3.08     |             | 4.05     |             | 5.92     |             | 4.96     |             | 6.98     |             |



### 7.6.3 KURAMSAL YÖNTEMLE YAPI KABUĞUNUN SES GEÇİŞ KAYBINI HESAPLANMASI

Yapı kabuğu, yığma taş duvar ve ahşap çift camlı pencereden oluşmaktadır. Öncelikle, taş duvarın kritik frekansı ve rezonans frekansı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

$$f_c = c^2 / (1.8 \times c_L \times d)$$

$$f_c = 344^2 / (1.8 \times 3000 \times 0.50)$$

$$f_c = 43.83 \text{ Hz}$$

$$f_{nm} = 0.45 \times c_L \times d \times \left[ \left( \frac{1}{l_x} \right)^2 + \left( \frac{1}{l_y} \right)^2 \right]$$

$$f_{nm} = 0.45 \times 3000 \times 0.5 \times \left[ \left( \frac{1}{3.65} \right)^2 + \left( \frac{1}{3.50} \right)^2 \right]$$

$$f_{nm} = 105.97 \text{ Hz}$$

$$2f_{nm} = 211.94 \text{ Hz}$$

Kritik frekans ile rezonans frekansı arasındaki bölgede malzemenin kayıp faktörü etkilidir.  $f_{nm}$  ile  $2f_{nm}$  (105.97 – 211.94 Hz) arasında rezonans oluşmaktadır. 105.97 Hz'in üzerindeki frekanslarda ise Kütle Kanunu geçerli olmaktadır. Bu durum Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Kritik frekansta ve rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybı değerleri, Bölüm 6'da anlatılmış olan grafiksel yöntemle, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'ya bağlı olarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$\rho_s = \rho \times d = 2300 \times 0.5 = 1150 \text{ kg/m}^2$$

$$\rho_s = \text{Yapı elemanının alan ağırlığı, kg/m}^2$$

$$\rho = \text{Yapı elemanının yoğunluğu, kg/m}^3$$

$$d = \text{Yapı elemanının kalınlığı, m}$$

$$\rho_s \times f_c = 1150 \times 43.83 = 50404 \text{ Hz.kg/ m}^2$$

Bu değer kullanılarak, Şekil 6.5'ten  $R_0(f_c)$  değeri 52 dB olarak bulunmuştur. Şekil 6.6'da, kayıp faktörü  $\eta = 0.02$  olacak şekilde  $[R_f(f_c) - R_0(f_c)]$  değeri -27dB olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, kritik frekansta oluşan ses geçiş kaybı değeri 6.18 bağıntısı kullanılarak aşağdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$R_f(f_c) = [R_f(f_c) - R_0(f_c)] + R_0(f_c)$$

$$R_f(f_c) = -27 + 52$$

$$R_f(f_c) = 25 \text{ dB}$$

Rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybını hesaplamak için öncelikle, Şekil 6.6'da kullanmak üzere  $f_{nm}/f_c$  oranı bulunmuştur.

$$f_{nm}/f_c = 105.97 / 43.83$$

$$f_{nm}/f_c = 2.42$$

Bu orana bağlı olarak,  $[R_f(f_{nm}) - R_0(f_c)]$  değeri -8 dB olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybı değeri 6.18 bağıntısı kullanılarak aşağdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$R_f(f_{nm}) = [R_f(f_{nm}) - R_0(f_c)] + R_0(f_c)$$

$$R_f(f_{nm}) = -8 + 52$$

$$R_f(f_{nm}) = 44 \text{ dB}$$

Oktav band merkez frekanslarında oluşan ses geçiş kaybı değerleri, Şekil 6.3'e bağlı olarak hesaplanmıştır. Kritik frekans ile rezonans frekansı arasında kalan bölgede ses geçiş kaybı, malzemenin kayıp faktörüne bağlıdır. Rezonans frekansının iki katı kadar olan frekansın üstünde kütle kanunu etkili olmaktadır.

$$R_{duv} = 20 \times \log(f \times \rho \times d) + 10 \times \left( \sqrt{f/f_c} \right) - 62dB \wedge dB$$

|          |                                                                                                   |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 125 Hz,  | $R_{duv} = 20 \times \log(125 \times 2300 \times 0.50) + 10 \times \log(\sqrt{125/43.83}) - 62dB$ |
| 125 Hz,  | $R_{duv} = 43.42 \text{ dB}$                                                                      |
| <br>     |                                                                                                   |
|          | $R_{duv} = 20 \times \log(f \times m) - 47dB \wedge dB$                                           |
| 250 Hz,  | $R_{duv} = 20 \times \log(250 \times 1150) - 47dB$                                                |
| 250 Hz,  | $R_{duv} = 62.17 \text{ dB}$                                                                      |
| <br>     |                                                                                                   |
| 500 Hz,  | $R_{duv} = 20 \times \log(500 \times 1150) - 47dB$                                                |
| 500 Hz,  | $R_{duv} = 68.19 \text{ dB}$                                                                      |
| <br>     |                                                                                                   |
| 1000 Hz, | $R_{duv} = 20 \times \log(1000 \times 1150) - 47dB$                                               |
| 1000 Hz, | $R_{duv} = 74.21 \text{ dB}$                                                                      |
| <br>     |                                                                                                   |
| 2000 Hz, | $R_{duv} = 20 \times \log(2000 \times 1150) - 47dB$                                               |
| 2000 Hz, | $R_{duv} = 80.23 \text{ dB}$                                                                      |
| <br>     |                                                                                                   |
| 4000 Hz, | $R_{duv} = 20 \times \log(4000 \times 1150) - 47dB$                                               |
| 4000 Hz, | $R_{duv} = 86.25 \text{ dB}$                                                                      |

Yapı elemanının kritik frekansta, rezonans frekansında ve oktav band frekanslarındaki ses geçiş kayıpları, aşağıda Tablo 7.29’da gösterilmiştir.

Tablo 7. 19: Yapı Elemanının Kuramsal Ses Geçiş Kayıp Değerleri

|                       | fc    | f <sub>nm</sub> |       | 2f <sub>nm</sub> |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-------|-----------------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | 43.83 | 105.97          | 125   | 211.94           | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
| R <sub>duv</sub> , dB | 25.00 | 44.00           | 43.42 | 53.00            | 62.17 | 68.19 | 74.21 | 80.23 | 86.25 |

Yapı kabuğundaki kapı tipi, 3 mm cam + 6 mm boşluk + 3 mm cam şeklinde çift camdır. Bu tip çift cam sisteminin frekanslara olarak sağladığı ses geçiş kaybı değerleri aşağıda gösterilmiştir.

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 24 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 24 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 24 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 24 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 39 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{pen} = 32 \text{ dB}$$

Bölüm 6’da anlatılan kuramsal yöntemle göre  $S_{kapı} / S_{duv}$  oranı bulunmuş ve oktav band frekans değerleri için  $R_{duv} - R_{kapı}$  farkları alınmıştır.

$$S_{kapı} / S_{duv} = 6.38 / 6.39 = 0.998 \cong 1$$

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{duv} - R_{pen} = 43.42 - 24 = 19.42 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{duv} - R_{pen} = 62.17 - 24 = 38.17 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{duv} - R_{pen} = 68.19 - 24 = 44.19 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} - R_{pen} = 74.21 - 24 = 50.21 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{duv} - R_{pen} = 80.23 - 39 = 41.23 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} - R_{\text{pen}} = 86.25 - 32 = 54.25 \text{ dB}$$

Şekil 6.7'deki grafik kullanılarak, oktav band frekans değerleri için, ses yalıtımı kaybı değeri olan  $x$  bulunmuştur.

$$R_T = R_{\text{duv}} - x$$

$$125 \text{ Hz}, \quad x = 15.50 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 43.42 - 15.50 = 27.92 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad x = 35.00 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 62.17 - 35.00 = 27.17 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad x = 41.00 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 68.19 - 41.00 = 27.19 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad x = 47.00 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 74.21 - 47.00 = 27.21 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad x = 38.00 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 80.23 - 38.00 = 42.23 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad x = 51.00 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 86.25 - 51.00 = 35.25 \text{ dB}$$

#### 7.6.4 İÇİN NCB KRİTERİNİN SEÇİLMESİ

İç gürültü düzeyi ölçülen mekan otelin yatak odasıdır. Yatak odaları için olması gereken NCB değeri 30'dur. NCB 30'un oktav band merkez frekanslarına göre dağılım aşağıda gösterilmiştir.

$$125 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 46 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 40 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 35 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 32 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 28 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad L_{\text{kriter}} = 25 \text{ dB}$$

İç mekanda olması gereken ses düzeylerine ( $L_{kriter}$ ) bağlı olarak yapı kabuğunun sağlanması gereken ses geçiş kaybı ( $R_{st}$ ), frekanslara bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$R_{st} = L_{du} - L_{kri} + 10 \log \frac{S}{A} \text{ dB}$$

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 67.40 - 46.00 + 10 \log \frac{12.77}{3.38}$$

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 27.17 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 57.50 - 40.00 + 10 \log \frac{12.77}{3.08}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 23.68 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 59.50 - 35.00 + 10 \log \frac{12.77}{4.05}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 29.49 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 62.00 - 32.00 + 10 \log \frac{12.77}{5.92}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 33.34 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 62.20 - 28.00 + 10 \log \frac{12.77}{4.96}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 38.31 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 59.50 - 25.00 + 10 \log \frac{12.77}{6.98}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{st} = 37.12 \text{ dB}$$

### 7.6.5 DENEYSEL VE KURAMSAL YÖNTEM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Yapı kabuğunun, kuramsal olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerleri ile deneysel olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerlerinin, oktav band frekansları için karşılaştırılması aşağıda Tablo 7.30’da gösterilmiştir.

Tablo 7.30: Kuramsal – Deneysel Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması

|                  | 125   | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $L_{dış}$ , dB   | 67.40 | 57.50 | 59.50 | 62.00 | 62.20 | 59.50 |
| $L_{iç}$ , dB    | 48.80 | 36.40 | 32.50 | 26.40 | 26.20 | 22.30 |
| 10 log S/A       | 5.77  | 6.18  | 4.99  | 3.34  | 4.11  | 2.62  |
| $R_{T,Den}$ , dB | 24.37 | 27.28 | 31.99 | 38.94 | 40.11 | 39.82 |

|                                             | 125   | 250   | 500   | 1000   | 2000  | 4000  |
|---------------------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| $R_{duv}$ , dB                              | 43.42 | 62.17 | 68.19 | 74.21  | 80.23 | 86.25 |
| $R_{pen}$ , dB                              | 24.00 | 24.00 | 24.00 | 24.00  | 39.00 | 32.00 |
| $R_{duv}-R_{pen}$ , dB                      | 19.42 | 38.17 | 44.19 | 50.21  | 41.23 | 54.25 |
| x                                           | 15.50 | 35.00 | 41.00 | 47.00  | 38.00 | 51.00 |
| $R_{T,Teo}$ , dB                            | 27.92 | 27.17 | 27.19 | 27.21  | 42.23 | 35.25 |
| $R_{T,Den}$ , dB                            | 24.37 | 27.28 | 31.99 | 38.94  | 40.11 | 39.82 |
| Karşılaştırma<br>$R_{T,Teo}-R_{T,Den}$ , dB | 3.55  | -0.11 | -4.80 | -11.73 | 2.12  | -4.57 |

Deneysel ve kuramsal sonuçlar karşılaştırıldığında, kuramsal olarak bulunmuş ses geçiş kaybı değerlerinin, deneysel ses geçiş kaybı değerleriyle uyduğu görülmektedir. Ancak 1000 Hz’de, kuramsal ses geçiş kaybı, deneysel ses geçiş kaybından 11.73 dB düşüktür. Bunun nedeni, 1000 Hz’de kuramsal olarak, pencerenin ve duvarın ses geçiş kaybı değerleri arasındaki farkın büyük olmasıdır. 4000 Hz’de aradaki fark daha fazladır. Ancak, duvarın ses geçiş kaybının yüksekliği aradaki farkı kapatmaktadır. 1000 Hz dışındaki frekanslarda, yapı kabuğunun ses yalıtım performansı, kuramsal sonuçlarla uyduğu görülmektedir.

#### 7.6.6 DENEYSEL YÖNTEM SONUÇLARI YLA NCB KRİTERİNE BAĞLI SONUÇLARI N KARŞILAŞTIRILMASI

Deneyssel olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerlerinin, NCB kriterine bağlı olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerleriyle karşılaştırılması aşağıda Tablo 7.31’de gösterilmiştir.

Tablo 7. 31: Deneyssel – NCB Kriterine Bağlı Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması

|                            | 125   | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $L_{dış}$ , dB             | 67.40 | 57.50 | 59.50 | 62.00 | 62.20 | 59.50 |
| $L_{kri}$ , dB             | 46.00 | 40.00 | 35.00 | 32.00 | 28.00 | 25.00 |
| NCB 30                     |       |       |       |       |       |       |
| 10 log S/A                 | 5.77  | 6.18  | 4.99  | 3.34  | 4.11  | 2.62  |
| $R_{ist}$ , dB             | 27.17 | 23.68 | 29.49 | 33.34 | 38.31 | 37.12 |
| $R_{T,Den}$ , dB           | 24.37 | 27.28 | 31.99 | 38.94 | 40.11 | 39.82 |
| $R_{ist} - R_{T,Den}$ , dB | 2.80  | -3.60 | -2.50 | -5.60 | -1.80 | -2.70 |

Deneyssel yöntem sonuçlarıyla, NCB kriterine bağlı sonuçlar karşılaştırıldığında, her frekansta istenen ses geçiş kaybı değerinin sağlandığı görülmektedir. Yapı kabuğu, mekan içinde olması gereken ortalama NCB değerini sağlamaktadır ve gürültü düzeyi düşüktür. 250 Hz’de oluşan 2.8 dB’lik fark önemsiz düzeydedir. 125 Hz frekanslarda, yapı kabuğu istenen ses geçiş kaybı değerini sağlamaktadır. Sonuç olarak mevcut durumdaki dış gürültü düzeyine bağlı olarak yapı kabuğunun tüm frekanslarda sağladığı ses geçiş kaybı değerleri yeterlidir. Özellikle yatak odalarında, gürültüden kaynaklanan uykunun engellenmesi ve ruh sağlığı üzerindeki olumsuz etkiler bu mekanda görülecektir.

## 7.7. DİVAN RESTORAN BİNASI NİN (TAKSİM KURAMSAL VE DENEYSEL AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ)

### 7.7.1. GİRİŞ

Divan Restoran olarak kullanılan mekan, Taksim Hill Oeli'nin zemin katında, Sıraselviler Caddesi üzerinde yer almaktadır. Yapı, restorasyonu yapılmış eski bir yapıdır ve projeleri Ek F'de verilmiştir.

Yapının restorasyonunda Taksim Meydanı'na bakan ön cephesi bütünüyle korunmuş ve diğer kısımları taşıyıcı sistemi betonarme olacak şekilde yeniden inşa edilmiştir. Öçümü yapılan yapı kabuğu, zemin katta yer alan restoranın ön cephesidir. 67.5 cm kalınlığında taş duvar ve 6 mm kalınlığında cam ve kapılardan oluşmaktadır. Öçüm sabah saat 10:30 civarında yapılmıştır.

### 7.7.2. DENEYSEL YÖNTEMLE YAPI KABUĞUNUN SES GEÇİŞ KAYBİNIN HESAPLANMASI

Bölüm 6'da anlatılan deney düzeneğine uygun olarak, yapı kabuğunun, ses basınç düzeyi ölçerleri kullanılarak ölçülen iç ve dış gürültü seviyeleri, kablolarla çift kanallı teybe kaydedilmiştir. Daha sonra deney ölçümleri, Gürültü Düzeyi Analizörü'nde ve Kanal Analizörü programında analiz edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen değerler aşağıda Tablo 7.32'de verilmiştir.

Tablo 7.32: Divan Restoran – Gürültü Analiz Sonuçları

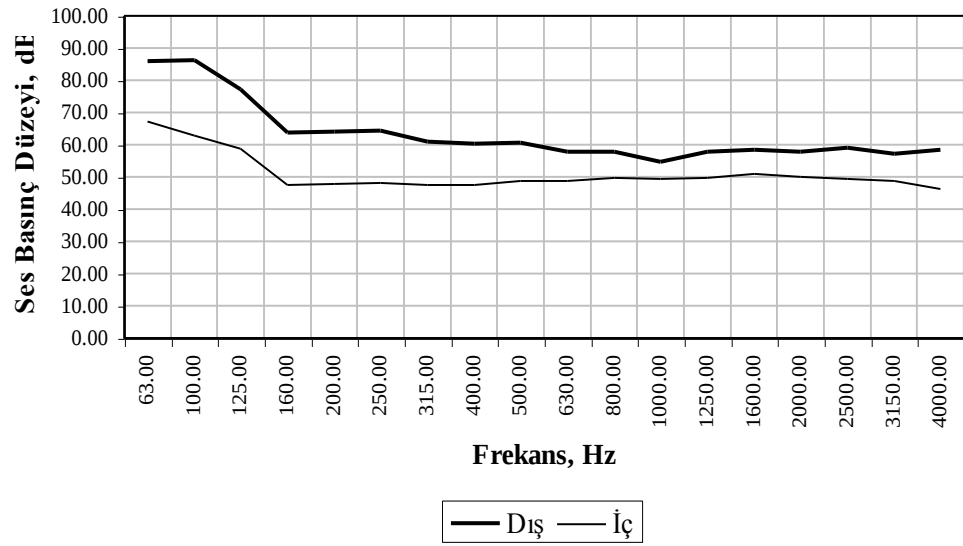
| (dBA)    | Short $L_{eq}$ | Med. $L_{eq}$ | Long $L_{eq}$ | 1 sec. $L_{eq}$ | $L_{max}$ | SEL    | Sound L. |
|----------|----------------|---------------|---------------|-----------------|-----------|--------|----------|
| Dış      | 85.20          | 88.70         | 88.60         | 82.30           | 89.80     | 103.10 | 82.20    |
| İç       | 66.00          | 66.90         | 66.80         | 64.10           | 75.30     | 93.60  | 64.10    |
| Dış - İç | 19.20          | 21.80         | 21.80         | 18.20           | 14.50     | 9.50   | 18.10    |

Kanal Analizörü programında, iç ve dış gürültü düzeylerinin oktav band ve 1/3 oktav band frekans dağılımı bulunmuştur. Aşağıda Tablo 7.33'te gürültü düzeylerinin dB olarak frekans dağılımı gösterilmiştir.

Tablo 7. 33: Dıvan Restoran – Frekans Analizi

|                 | Frekans (Hz) |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                 | 63           | 100   | 125   | 160   | 200   | 250   | 315   | 400   | 500   |
| <b>Dış (dB)</b> | 85.80        | 86.40 | 77.10 | 63.70 | 64.00 | 64.30 | 61.00 | 60.40 | 60.60 |
| <b>İç (dB)</b>  | 67.20        | 62.90 | 58.70 | 47.40 | 47.70 | 48.10 | 47.60 | 47.60 | 48.60 |
|                 | 630          | 800   | 1000  | 1250  | 1600  | 2000  | 2500  | 3150  | 4000  |
| <b>Dış (dB)</b> | 57.70        | 57.90 | 54.60 | 57.70 | 58.40 | 57.80 | 59.20 | 57.10 | 58.50 |
| <b>İç (dB)</b>  | 48.90        | 49.60 | 49.40 | 49.60 | 51.00 | 50.10 | 49.50 | 48.60 | 46.10 |

Tablo 7.33’te verilmiş olan ses basınç düzeyi – frekans ilişkisi, aşağıda Şekil 7.6’da iç ve dış ortam için grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7. 6: İç ve Dış Ses Basınç Düzeyi – Frekans İlişkisi

Deneysel yöntemle yapı kabuğunun ses geçiş kaybı, oktav band merkez frekansları için, TS – ISO 140 / 5’te belirtilen yöntemle hesaplanmıştır. Eşdeğer emicilik alanının ( A ) hesaplanması, Tablo 7.34’te gösterilmiştir.

$$R_T = L_{du} - L_{iç} + 10 \log \frac{S}{A} \Delta \Delta \text{ dB}$$

$$125 \text{ Hz,} \quad R_T = 77.10 - 58.70 + 10 \log \frac{46.57}{24.96}$$

$$125 \text{ Hz,} \quad R_T = 21.11 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz,} \quad R_T = 64.30 - 48.10 + 10 \log \frac{46.57}{17.99}$$

$$250 \text{ Hz,} \quad R_T = 20.33 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz,} \quad R_T = 60.60 - 48.60 + 10 \log \frac{46.57}{20.95}$$

$$500 \text{ Hz,} \quad R_T = 15.47 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz,} \quad R_T = 54.60 - 49.40 + 10 \log \frac{46.57}{25.29}$$

$$1000 \text{ Hz,} \quad R_T = 7.85 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz,} \quad R_T = 57.80 - 50.10 + 10 \log \frac{46.57}{31.04}$$

$$2000 \text{ Hz,} \quad R_T = 9.46 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz,} \quad R_T = 58.50 - 46.10 + 10 \log \frac{46.57}{45.80}$$

$$4000 \text{ Hz,} \quad R_T = 12.47 \text{ dB}$$

Tablo 7. 24: Dıvan Restoran – Eşdeğer Emicilik Alanının (A) Hesaplanması

| ELEMEN ADI                                      | TOPLAM<br>S (m <sup>2</sup> ) | ALAN<br>(m <sup>2</sup> ) | MALZEME    | FREKANS (Hz) |             |          |             |          |             |          |             |          |             |          |             |
|-------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------|--------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|
|                                                 |                               |                           |            | 125          |             | 250      |             | 500      |             | 1000     |             | 2000     |             | 4000     |             |
|                                                 |                               |                           |            | $\alpha$     | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ | $\alpha$ | S. $\alpha$ |
| A DUVARI                                        | 48.15                         | 25.65                     | Tuğla Kap. | 0.01         | 0.26        | 0.01     | 0.26        | 0.02     | 0.51        | 0.02     | 0.51        | 0.02     | 0.51        | 0.02     | 0.51        |
|                                                 |                               | 22.50                     | Ayna       | 0.08         | 1.80        | 0.04     | 0.90        | 0.03     | 0.67        | 0.03     | 0.67        | 0.02     | 0.45        | 0.02     | 0.45        |
| B DUVARI                                        | 43.06                         | 43.06                     | Tuğla Kap. | 0.01         | 0.43        | 0.01     | 0.43        | 0.02     | 0.86        | 0.02     | 0.86        | 0.02     | 0.86        | 0.02     | 0.86        |
| C DUVARI                                        | 31.72                         | 7.87                      | Tuğla Kap. | 0.01         | 0.08        | 0.01     | 0.08        | 0.02     | 0.16        | 0.02     | 0.16        | 0.02     | 0.16        | 0.02     | 0.16        |
|                                                 |                               | 23.85                     | 6 mm Cam   | 0.15         | 3.58        | 0.05     | 1.19        | 0.04     | 0.95        | 0.03     | 0.71        | 0.02     | 0.48        | 0.02     | 0.48        |
| D DUVARI                                        | 38.74                         | 23.89                     | Tuğla Kap. | 0.01         | 0.24        | 0.01     | 0.24        | 0.02     | 0.48        | 0.02     | 0.48        | 0.02     | 0.48        | 0.02     | 0.48        |
|                                                 |                               | 14.85                     | 6 mm Cam   | 0.15         | 2.22        | 0.05     | 0.74        | 0.04     | 0.59        | 0.03     | 0.44        | 0.02     | 0.30        | 0.02     | 0.30        |
| ÖN DUVAR                                        | 46.57                         | 22.70                     | Tuğla Kap. | 0.01         | 0.23        | 0.01     | 0.23        | 0.02     | 0.45        | 0.02     | 0.45        | 0.02     | 0.45        | 0.02     | 0.45        |
|                                                 |                               | 23.87                     | 6 mm Cam   | 0.15         | 3.58        | 0.05     | 1.19        | 0.04     | 0.95        | 0.03     | 0.72        | 0.02     | 0.48        | 0.02     | 0.48        |
| CAM PANEL                                       | 16.20                         | 16.20                     | 6 mm Cam   | 0.15         | 2.43        | 0.05     | 0.81        | 0.04     | 0.65        | 0.03     | 0.49        | 0.02     | 0.32        | 0.02     | 0.32        |
| DÖŞEME                                          | 228.44                        | 228.44                    | Mermer     | 0.01         | 2.28        | 0.01     | 2.28        | 0.01     | 2.28        | 0.01     | 2.28        | 0.02     | 4.57        | 0.02     | 4.57        |
| TAVAN                                           | 228.44                        | 228.44                    | Alçı+Beton | 0.013        | 2.97        | 0.015    | 3.43        | 0.02     | 4.57        | 0.03     | 6.85        | 0.04     | 9.14        | 0.05     | 11.42       |
| KOLON                                           | 14.57                         | 14.57                     | Mermer     | 0.01         | 0.14        | 0.01     | 0.14        | 0.01     | 0.14        | 0.01     | 0.14        | 0.02     | 0.29        | 0.02     | 0.29        |
| SANDALYE                                        | 13.50                         | 13.50                     | Kumaş      | 0.35         | 4.72        | 0.45     | 6.07        | 0.57     | 7.69        | 0.61     | 8.23        | 0.59     | 7.96        | 0.55     | 7.42        |
| HACİM (m <sup>3</sup> )                         | 765.58                        | 765.58                    |            | 0.00         | 0.00        | 0.00     | 0.00        | 0.00     | 0.00        | 0.003    | 2.30        | 0.006    | 4.59        | 0.023    | 17.61       |
| EŞDEĞER EMİCİLİK ALANI, A, sabin.m <sup>2</sup> |                               |                           |            | 24.96        |             | 17.99    |             | 20.95    |             | 25.29    |             | 31.04    |             | 45.80    |             |



### 7.7.3 KURAMSAL YÖNTEMLE YAPI KABUĞUNUN SES GEÇİŞ KAYBINI HESAPLANMASI

Yapı kabuğu, yığma taş duvar ve 6 mm kalınlığında cımdan oluşmaktadır. Öncelikle, taş duvarın kritik frekansı ve oktav band merkez frekanslardaki ses geçiş kaybı değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

$$f_c = c^2 / (1.8 \times c_L \times d)$$

$$f_c = 344^2 / (1.8 \times 3000 \times 0.675)$$

$$f_c = 32.46 \text{ Hz}$$

$$f_{nm} = 0.45 \times c_L \times d \times \left[ \left( \frac{1}{l_x} \right)^2 + \left( \frac{1}{l_y} \right)^2 \right]$$

$$f_{nm} = 0.45 \times 3000 \times 0.675 \times \left[ \left( \frac{1}{10.35} \right)^2 + \left( \frac{1}{4.50} \right)^2 \right]$$

$$f_{nm} = 53.49 \text{ Hz}$$

$$2f_{nm} = 106.98 \text{ Hz}$$

Kritik frekans ile rezonans frekansı arasındaki bölgede malzemenin kayıp faktörü etkilidir.  $f_{nm}$  ile  $2f_{nm}$  (53.49 – 106.98 Hz) arasında rezonans oluşmaktadır. 106.98 Hz'in üzerindeki frekanslarda ise Kütle Kanunu geçerli olmaktadır. Bu durum Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Kritik frekansta ve rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybı değerleri, Bölüm 6'da anlatılmış olan grafiksel yöntemle, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'ya bağlı olarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$\rho_s = \rho \times d = 2300 \times 0.675 = 1552.5 \text{ kg/m}^2$$

$$\rho_s = \text{Yapı elemanının alan ağırlığı, kg/m}^2$$

$$\rho = \text{Yapı elemanının yoğunluğu, kg/m}^3$$

$$d = \text{Yapı elemanının kalınlığı, m}$$

$$\rho_s \times f_c = 1552.5 \times 32.46 = 50394 \text{ Hz.kg/m}^2$$

Bu değer kullanılarak, Şekil 6.5'ten  $R_0(f_c)$  değeri 52 dB olarak bulunmuştur. Şekil 6.6'da, kayıp faktörü  $\eta = 0.02$  olacak şekilde  $[R_f(f_c) - R_0(f_c)]$  değeri -27dB olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, kritik frekansta oluşan ses geçiş kaybı değeri 6.18 bağıntısı kullanılarak aşağdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$R_f(f_c) = [R_f(f_c) - R_0(f_c)] + R_0(f_c)$$

$$R_f(f_c) = -27 + 52$$

$$R_f(f_c) = 25 \text{ dB}$$

Rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybını hesaplamak için öncelikle, Şekil 6.6'da kullanmak üzere  $f_{nm}/f_c$  oranı bulunmuştur.

$$f_{nm}/f_c = 53.49 / 32.46$$

$$f_{nm}/f_c = 1.65$$

Bu orana bağlı olarak,  $[R_f(f_{nm}) - R_0(f_c)]$  değeri -17.5 dB olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, rezonans frekansında oluşan ses geçiş kaybı değeri 6.18 bağıntısı kullanılarak aşağdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$R_f(f_{nm}) = [R_f(f_{nm}) - R_0(f_c)] + R_0(f_c)$$

$$R_f(f_{nm}) = -17.5 + 52$$

$$R_f(f_{nm}) = 34.5 \text{ dB}$$

Oktav band merkez frekanslarında oluşan ses geçiş kaybı değerleri, Şekil 6.3'e bağlı olarak hesaplanmıştır. Kritik frekans ile rezonans frekansı arasında kalan bölgede ses geçiş kaybı, malzemenin kayıp faktörüne bağlıdır. Rezonans frekansının iki katı kadar olan frekansın üstünde kütle kanunu etkili olmaktadır.

$$R_{duv} = 20 \times \log(f \times m) - 47 \text{ dB}$$

125 Hz,  $R_{duv} = 20 \times \log(125 \times 1552.5) - 47 \text{ dB}$

125 Hz,  $R_{duv} = 58.76 \text{ dB}$

250 Hz,  $R_{duv} = 20 \times \log(250 \times 1552.5) - 47 \text{ dB}$

250 Hz,  $R_{duv} = 64.78 \text{ dB}$

500 Hz,  $R_{duv} = 20 \times \log(500 \times 1552.5) - 47 \text{ dB}$

500 Hz,  $R_{duv} = 70.80 \text{ dB}$

1000 Hz,  $R_{duv} = 20 \times \log(1000 \times 1552.5) - 47 \text{ dB}$

1000 Hz,  $R_{duv} = 76.82 \text{ dB}$

2000 Hz,  $R_{duv} = 20 \times \log(2000 \times 1552.5) - 47 \text{ dB}$

2000 Hz,  $R_{duv} = 82.84 \text{ dB}$

4000 Hz,  $R_{duv} = 20 \times \log(4000 \times 1552.5) - 47 \text{ dB}$

4000 Hz,  $R_{duv} = 88.86 \text{ dB}$

Yapı elemanının kritik frekansta, rezonans frekansında ve oktav band frekanslarındaki ses geçiş kayıpları, aşağıda Tablo 7.35'te gösterilmiştir.

Tablo 7.35: Yapı Elemanının Kuramsal Ses Geçiş Kayıp Değerleri

|                       | fc    | f <sub>nm</sub> | 2f <sub>nm</sub> |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-------|-----------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | 32.46 | 53.49           | 106.98           | 125   | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
| R <sub>duv</sub> , dB | 25.00 | 34.50           | 47.00            | 58.76 | 64.78 | 70.80 | 76.82 | 82.84 | 88.86 |

Yapı kabuğundaki kapı ve pencere tipi aynıdır ve 6 mm camdan oluşmaktadır. 6 mm kalınlığındaki camın frekanslara bağlı olarak sağladığı ses geçiş kaybı değerleri aşağıda gösterilmiştir.

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{\text{pen}} = 25 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{\text{pen}} = 28 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{\text{pen}} = 31 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{pen}} = 34 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{pen}} = 30 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{pen}} = 37 \text{ dB}$$

Bölüm 6’da anlatılan kuramsal yöntem gere  $S_{\text{pen}} / S_{\text{duv}}$  oranı bulunmuş ve oktav band frekans değerleri için  $R_{\text{duv}} - R_{\text{pen}}$  farkları alınmıştır.

$$S_{\text{pen}} / S_{\text{duv}} = 23.87 / 22.7 = 1.05 \cong 1$$

$$125 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} - R_{\text{pen}} = 58.76 - 25 = 33.76 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} - R_{\text{pen}} = 64.78 - 28 = 36.78 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} - R_{\text{pen}} = 70.80 - 31 = 39.80 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} - R_{\text{pen}} = 76.82 - 34 = 42.82 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} - R_{\text{pen}} = 82.84 - 30 = 52.84 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{duv}} - R_{\text{pen}} = 88.96 - 37 = 51.96 \text{ dB}$$

Şekil 6.7’deki grafik kullanılarak, oktav band frekans değerleri için, ses yalıtım kaybı değeri olan  $x$  bulunmuştur.

$$R_T = R_{\text{duv}} - x$$

$$125 \text{ Hz}, \quad x = 30.50 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 58.76 - 30.50 = 28.26 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz}, \quad x = 33.50 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 64.78 - 33.50 = 31.28 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad x = 36.50 \quad R_T = R_{\text{duv}} - x = 70.80 - 36.50 = 34.30 \text{ dB}$$

|          |             |                                                              |
|----------|-------------|--------------------------------------------------------------|
| 1000 Hz, | $x = 39.50$ | $R_T = R_{\text{üv}} - x = 76.82 - 39.50 = 37.32 \text{ dB}$ |
| 2000 Hz, | $x = 49.75$ | $R_T = R_{\text{üv}} - x = 82.84 - 49.75 = 33.09 \text{ dB}$ |
| 4000 Hz, | $x = 49.00$ | $R_T = R_{\text{üv}} - x = 88.96 - 49.00 = 39.96 \text{ dB}$ |

#### 7.7.4 İÇ MİNAİÇİ NCB KRİTERİNİN SEÇİLMESİ

İç gürültü düzeyi ölçülen mekan bir restorandır. Bu tip mekanlar için olması gereken NCB değeri 40'tır. NCB 40'ın oktav band merkez frekanslarına göre dağılım aşağıda gösterilmiştir.

|          |                                     |
|----------|-------------------------------------|
| 125 Hz,  | $L_{\text{kriter}} = 54 \text{ dB}$ |
| 250 Hz,  | $L_{\text{kriter}} = 49 \text{ dB}$ |
| 500 Hz,  | $L_{\text{kriter}} = 45 \text{ dB}$ |
| 1000 Hz, | $L_{\text{kriter}} = 42 \text{ dB}$ |
| 2000 Hz, | $L_{\text{kriter}} = 38 \text{ dB}$ |
| 4000 Hz, | $L_{\text{kriter}} = 35 \text{ dB}$ |

İç mekanda olması gereken ses düzeylerine ( $L_{\text{kriter}}$ ) bağlı olarak, yapı kabuğunun sağlaması gereken ses geçiş kaybı ( $R_{\text{st}}$ ), frekanslara bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$R_{\text{st}} = L_{\text{du}} - L_{\text{kri}} + 10 \log \frac{S}{A} \text{ dB}$$

$$125 \text{ Hz, } R_{\text{st}} = 77.10 - 54.00 + 10 \log \frac{46.57}{24.96}$$

$$125 \text{ Hz, } R_{\text{st}} = 25.81 \text{ dB}$$

$$250 \text{ Hz, } R_T = 64.30 - 49.00 + 10 \log \frac{46.57}{17.99}$$

$$250 \text{ Hz, } R_{\text{st}} = 19.43 \text{ dB}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{\text{st}} = 60.60 - 45.00 + 10 \log \frac{46.57}{20.95}$$

$$500 \text{ Hz}, \quad R_{\text{st}} = 19.07 \text{ dB}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{st}} = 54.60 - 42.00 + 10 \log \frac{46.57}{25.29}$$

$$1000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{st}} = 15.25 \text{ dB}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{st}} = 57.80 - 38.00 + 10 \log \frac{46.57}{31.04}$$

$$2000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{st}} = 21.56 \text{ dB}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{st}} = 58.50 - 35.00 + 10 \log \frac{46.57}{45.80}$$

$$4000 \text{ Hz}, \quad R_{\text{st}} = 23.57 \text{ dB}$$

### 7.7.5 DENEYSEL VE KURAMSAL YÖNTEM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Yapı kabuğunun, kuramsal olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerleri ile deneysel olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerlerinin, oktav band frekansları için karşılaştırılması aşağıda Tablo 7.36’da gösterilmiştir.

Tablo 7.36: Kuramsal – Deneysel Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması

|                  | 125   | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $L_{dış}$ , dB   | 77.10 | 64.30 | 60.60 | 54.60 | 57.80 | 58.50 |
| $L_{iç}$ , dB    | 58.70 | 48.10 | 48.60 | 49.40 | 50.10 | 46.10 |
| 10 log S/A       | 2.71  | 4.13  | 3.47  | 2.65  | 1.76  | 0.07  |
| $R_{T,Den}$ , dB | 21.11 | 20.33 | 15.47 | 7.85  | 9.46  | 12.47 |

|                                             | 125   | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
|---------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $R_{duv}$ , dB                              | 58.76 | 64.78 | 70.80 | 76.82 | 82.84 | 88.86 |
| $R_{pen}$ , dB                              | 25.00 | 28.00 | 31.00 | 34.00 | 30.00 | 37.00 |
| $R_{duv}-R_{pen}$ , dB                      | 33.76 | 36.78 | 39.80 | 42.82 | 52.84 | 51.86 |
| x                                           | 30.50 | 33.50 | 36.50 | 39.50 | 49.75 | 49.00 |
| $R_{T,Teo}$ , dB                            | 28.26 | 31.28 | 34.30 | 37.32 | 33.09 | 39.86 |
| $R_{T,Den}$ , dB                            | 21.11 | 20.33 | 15.47 | 7.85  | 9.46  | 12.47 |
| Karşılaştırma<br>$R_{T,Teo}-R_{T,Den}$ , dB | 7.15  | 10.95 | 18.83 | 29.47 | 23.63 | 27.39 |

Deneysel ve kuramsal sonuçlar karşılaştırıldığında, kuramsal olarak bulunmuş ses geçiş kaybı değerlerinin, deneysel ses geçiş kaybı değerlerinden, bütün frekanslarda daha yüksek olduğu görülmektedir. Deneysel ses geçiş kaybı değerleri, yapı kabuğunun gerçek ortamdaki ses yalıtım performansını göstermektedir. Bu sebeple elde edilen sonuçlar daha gerçekçidir. Kuramsal yöntemde kullanılan değerler ise literatürden alınmış ideal koşullardaki değerlerdir. Özellikle yüksek frekanslarda oluşan büyük fark, ideal bir kanun olan Kütle Kanunu’ndan kaynaklanmaktadır. Kütle Kanunu’na göre, her oktav bandda, ses geçiş kaybı 6 dB artmaktadır. Gerçek ortam koşullarında ise ideal ortam koşulları yoktur. Yapı kabuğundaki elemanların özellikleri, literatür değerlerinden

farklıdır. Bu sebeple, yapı kabuğunun ses yalıtım performansının değerlendirilmesi için, deneysel ses geçiş kaybı değerlerinin kullanılması gerçekçi ve doğru bir yaklaşımdır.

#### 7.7.6 DENEYSEL YÖNTEM SONUÇLARIYLA NCB KRİTERİNE BAĞLI SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Deneysel olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerlerinin, NCB kriterine bağlı olarak hesaplanmış ses geçiş kaybı değerleriyle karşılaştırılması aşağıda Tablo 7.37’de gösterilmiştir.

Tablo 7. 37: Deneysel – NCB Kriterine Bağlı Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması

|                            | 125   | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $L_{dış}$ , dB             | 77.10 | 64.30 | 60.60 | 54.60 | 57.80 | 58.50 |
| $L_{kri}$ , dB             | 54.00 | 49.00 | 45.00 | 42.00 | 38.00 | 35.00 |
| NCB 40                     |       |       |       |       |       |       |
| $10 \log S/A$              | 2.71  | 4.13  | 3.47  | 2.65  | 1.76  | 0.07  |
| $R_{ist}$ , dB             | 25.81 | 19.43 | 19.07 | 15.25 | 21.56 | 23.57 |
| $R_{T,Den}$ , dB           | 21.11 | 20.33 | 15.47 | 7.85  | 9.46  | 12.47 |
| $R_{ist} - R_{T,Den}$ , dB | 4.70  | -0.90 | 3.60  | 7.40  | 12.10 | 11.10 |

Deneysel yöntem sonuçlarıyla, NCB kriterine bağlı sonuçlar karşılaştırıldığında özellikle yüksek frekanslarda, ses geçiş kaybı değerleri arasındaki fark artmaktadır. 125, 250 ve 500 Hz frekanslarda, yapı kabuğu istenen ses geçiş kaybı değerini ancak sağlamaktadır. Ancak 1000, 2000 ve 4000 Hz frekanslarda, istenen iç mekan gürültü düzeyi sağlanamamaktadır. Bunun sebebi, yapı kabuğunun yüksek frekanslardaki ses geçiş kaybı değerlerinin düşük olmasıdır. Mevcut durumdaki dış gürültü düzeyine bağlı olarak yapı kabuğunun yüksek frekanslarda sağladığı ses geçiş kaybı değerleri yetersizdir. İç mekanın kullanıma amacıyla bağlı olarak sağlanması gereken konfor yetersizdir. Mekan, ölçüm yapıldığı sırada kalabalık değildir. Restoran gibi bir mekanda, doluluk oranı arttıkça, iç gürültü düzeyi ve buna bağlı oluşan rahatsızlık artacaktır.

## BÖLÜM8. SONUÇ

Günümüzde, gürültü kontrolü konusunda en önemli rol yapı elemanlarına düşmektedir. Bunun nedeni, gürültü kontrolünün kent ölçeğinde yapılmasıdır. Çevresel gürültülerin yoğun olduğu günümüz şehirlerinde, bina cephelerinin sağladığı ses yalıtım büyük öneme taşımaktadır. Bu amaçla, tez çalışmasında, Beşiktaş ve Taksim gibi iki yoğun semt, örnek olarak seçilmiştir.

Seçilen bina cephelerinde, tezin amacına uygun olarak deneysel ölçüm yapılmıştır. Deneysel ölçüm sonuçlarıyla, kuramsal olarak hesaplanmış sonuçlar karşılaştırılmıştır. Uluslararası bir kriter olan ve yakın geçişte oluşturulmuş Dengelenmiş Gürültü Kriterine (NCB) göre bina içinde olması gereken ses düzeyleri saptanmış ve buna bağlı olarak bina cephesinin sağlanması istenen ses geçiş kaybı değerleri bulunmuştur. Sonuçlar, deneysel yöntem sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Örnek olarak Beşiktaş'ta ve Taksim'de seçilmiş olan altı adet yapının ses yalıtım performansları değerlendirilmiştir. Genel olarak kuramsal ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, İl Turizm Binası'nda, Turkcell Bayisinde, Vakıflar Bankası'nda ve Dİvan Restoran'da, yüksek frekanslardaki kuramsal ses geçiş kaybı değerlerinin, deneysel sonuçlardan daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bunun nedeni, kuramsal sonuçların literatürden alınan değerlerle saptanmasıdır. Başka bir nedenle, kuramsal hesaplamalarda kullanılan Kütle Kanunu'nun ve kayıp faktörüne bağlı ses geçiş kaybı formülünün ideal koşullar için geçerli olmasıdır. Gerçek ortam koşullarında ise ideal ortam koşulları yoktur.

Turkcell Bayisinde, Vakıflar Bankası'nda ve İstanbul Metro Kumanda Merkezi'nde elde edilen sonuçları incelendiğinde, alçak frekanslarda, deneysel ses geçiş kaybı değerlerinin, kuramsal ses geçiş kaybı değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür. Üç yapıda da, kritik frekans 125 Hz'e yakın değerdedir. Bu sebeple, 125 Hz'de hesaplanan ses geçiş kaybı değeri düşük çıkmıştır. Üç yapının deneysel olarak ölçülmüş iç mekan ses basınç düzeyi incelendiğinde, 125, 250 ve 500 Hz'de düşük oldukları saptanmıştır. Bu sebeple, bu

frekanslardaki deneysel ses geçiş kaybı değerleri yüksek çıkmıştır. Taxi mHill Oeli’nin bina cephesinde, kuramsal ve deneysel sonuçlar uyum içinde çıkmıştır. Dıvan Restoran’da ise, her frekansta, kuramsal değerler, deneysel değerlerden yüksektir.

Sonuç olarak, deneysel lmsonuları, bina cephesinin gerçekte sağladığı ses yalıtım performansı nı göstermektedir. Bu sebeple, ses yalıtım performansı nın değerlendirilmesinde, deneysel değerler daha gerçekçi ve doğru sonuç verecektir.

NCB kriterine bağlı olarak bina cephelerini n sağlaması gereken ses geçiş kaybı değerleri ile deneysel ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edilmiştir. İl Turizm Binası’nda, Turkcell Bayisinde, Vakıflar Bankası’nda ve Dıvan Restoran’da, bina cepheleri, yüksek frekanslarda istenen ses geçiş kaybı değerini sağlamaktadır. Turkcell Bayisinde, alçak frekanslarda ölçülen iç ses bası n düzeyi düşük olduğundan, NCB kriterine bağlı sonuçlar daha düşük çıkmıştır. İstanbul Metro Kumanda Merkezi’nde ise, yapının iç mekanı, resepsiyon ve danışma olmasına rağmen, seyrek kullanılmaktadır. Bu sebeple, kriter bağlı sonuçlar, her frekansta, deneysel değerlerden düşük çıkmıştır.

Sonuç olarak, tez çalışmasında, bina cephelerini n, deneysel yntemesi alınıarak ses yalıtım performansları ortaya konmuş ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Gelecekteki çalışmalarda, kriter değerlerine bağlı olarak ses yalıtım performanslarının arttırılmasına ve bina cephelerini n bu doğrultuda geliştirilmesine yönelik öneriler üzerinde araştırmalar yapılacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] **Foreman, John E. K.**, 1990. Sound Analysis and Noise Control, Van Nostrand Reinhold, New York
- [2] **Bugliarello, G., Alexandre, A., Barnes, J. and Wakstein, C.**, 1976. Impact of Noise Pollution, A Socio – Technological Introduction, Pergamon Press Inc.
- [3] **Pohl, J.**, 1977. An Introduction to Building Science, Poor Richard's Press, San Luis Obispo, CA
- [4] **Gürültü Kontrol Yönetmeliği**, 11 Aralık 1986. Resmî Gazete, Sayı: 19308.
- [5] **Gürültü Kontrol Yönetmeliği Taslağı**, 19xx. T.C Çevre Bakanlığı, Çevre Kirliliğini Önleme ve Kontrol Genel Müdürlüğü, Sayı: B190ÇKÖ020002
- [6] **Commission of the European Communities**, 2000. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Relating to the Assessment and Management of Environmental Noise, COM(2000) 468 final, Brussels.
- [7] **Anthrop, D. E.**, 19xx. Noise Pollution, Lexington Books, D. C. Heath and Company, Lexington
- [8] **Stephens, R. W. B. and Leventhall, H. G.**, 1974. Acoustics and Vibration Progress, Chapman and Hill, London.
- [9] **Berglund, B., Lindvall, T. and Schwela, D. H.**, 1999. Guidelines for Community Noise, *World Health Organization Report*, Geneva.
- [10] **Office of the Scientific Assistant Office of Noise Abatement and Control U.S. Environmental Protection Agency**, 1981. Noise Effects Handbook, A Desk Reference to Health and Welfare Effects of Noise, National Association of Noise Control Officials, Florida.
- [11] **WHO Task Force Meeting**, November 24-28, 1992. Disseldorf, Germany.
- [12] **Smith, B. J.**, 1970. Acoustics, American Elsevier Publishing Company Inc., New York
- [13] **The City of San Luis Obispo**, 19xx. The Noise Handbook
- [14] **U.S. Department of Housing and Urban Development, Office of Community Planning and Development**, 1995. The Noise Guidebook, U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- [15] **Commission of the European Communities**, 1996. Green Paper on Future Noise Policy, COM(96) 540 final, Brussels.

- [16] **Egan, M D**, 1988. Architectural Acoustics, Mc Graw Hill Company, U S A
- [17] **Mehta, M, Johnson, J. and Rocafort, J.**, 1999. Architectural Acoustics, Prentice Hall Inc., Columbus.
- [18] **Hassall, J. R and Zaveri, K**, 1979. Acoustic Noise Measurements, Brüel & Kjær.
- [19] **Predicting Traffic Noise**, Internet Dosyası.
- [20] **Beranek, L L**, 1971. Noise and Vibration Control, Mc Graw Hill Company, U S A
- [21] **Noise Control**, <http://home.tir.com/~ns/noisecontrol/noisecontrol.html>
- [22] **Willi and Furrer**, 1964. Room and Building Acoustics and Noise Abatement, Butter worths, London.
- [23] **TS-ISO 140-5**, 1996. Akustik – Bölüm 5: Dış Cephe Kaplama Elemanları ve Dış Cephe Kaplama Elemanlarının Hava ile Yayılan Ses Yalıtımının Alan Ölçmeleri, *Türk Standartları Enstitüsü Ankara*.

## **EK A İL TURİZM BİNASI N N ( BEŞİ KTAŞ) PROJELERİ**

Şekil A 1: İl Turizm Binası (Beşiktaş): Vaziyet Planı, Öl 1 / 1000

Şekil A 2 İl Turizm Binası (Beşiktaş): 1. Kat Planı, Öl 1 / 100

Şekil A 3 İl Turizm Binası (Beşiktaş): Kesit ve Ön Görünüş, Öl 1 / 100



## **EK B TURKCELL BAYİ Sİ NİN ( BEŞİ KTAŞ) PROJELERİ**

Şekil B 1: Turkcell Bayii (Beşiktaş): Vaziyet Harı, Ö 1 / 1000

Şekil B 2: Turkcell Bayi (Beşiktaş): Zemin Kat Planı ve Ön Görünüş, Ö 1 / 50

## **EK C VAKIFLAR BANKASI N N( BEŞİ KTAŞ) PROJELERİ**

Şekil C 1: Vakıflar Bankası (Beşiktaş): Vaziyet Planı, Öl 1 / 1000

Şekil C 2 Vakıflar Bankası (Beşiktaş): 1. Kat Planı ve Ön Görünüş, Ö 1 / 100

Şekil C 3 Vakıflar Bankası (Beşiktaş): Cephe Kesitleri, Ö 1/ 50

**EK D İSTANBUL METRO KUMANDA MERKEZİ NİN (TAKSİ M) PROJELERİ**

Şekil D 1: İstanbul Metro Kumanda Merkezi (Taksi m): Vâziyet Harı, Ö 1 / 1000

Şekil D 2: İstanbul Metro Kumanda Merkezi (Taksi n): Zemin Kat Planı ve Ön Görünüş, Ö 1 / 50

Şekil D 3 İstanbul Metro Kumanda Merkezi (Taksi m): Cephe Kesiti, Ö 1 / 50

## **EK E TAXİ M H LL OTELİ Nİ N(TAKSİ M PROJELERİ**

Şekil E 1: Taxi m Hll Qeli (Taksi n): Vâzi yet H anı, Ö 1 / 1000

Şekil E 2 Taxi m Hll Öeli (Taksi m): 1. Kat Yat ak Odası Fl anı, Ö 1/ 50

Şekil E 3 Taxi m Hll Qeli (Taksi m): 1. Kat Yatak Odası Kesiti, Ö 1/ 50



Şekil E 4 Taxi m Hll Oeli (Taksi m): Ön Görünüş, Ö 1 / 200

## **EK F: DİVAN RESTORANIN (TAKSİM) PROJELERİ**

Şekil E. 1: Dıvan Restoran (Taksi m): Vaziyet Planı, Ö 1 / 1000

Şekil F. 2 Dıvan Restoran (Taksi m): Ze m in Kat Planı, Ö 1 / 200

Şekil E.3: Dıvan Restoran (Taksi m): Giriş Planı, Ö. 1 / 50

Şekil E. 4: Dıvan Restoran (Taksi m): Kesit, Ö 1 / 50

Şekil F. 5: Dıvan Restoran (Taksi m): Kesit, Ö 1 / 50

Şekil F. 6 Dıvan Restoran (Taksi m): Ön Görünüş, Ö 1 / 200

## ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında İzmir’de doğdu. 1987 yılında Manisa Gazi İlkokulu’nu bitirdi. Orta öğrenimini 1987 – 1991 yılları arasında Manisa Anadolu Lisesi’nde yaptı. Lise öğrenimini İzmir Fen Lisesi’nde tamamladı. 1994 yılında, İ. T. Ü. Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü’ne girdi. Buradan 1999 yılında mezun oldu. Aynı yıl, İ. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı’nda yüksek lisansa başladı.